



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS STRONTIUM TITANAT (SrTiO_3) DI ATAS SUBSTRAT SILIKON (Si) DENGAN METODE CHEMICAL BATH DEPOSITION (CBD)

TESIS



HADI KURNIAWAN
0921220007

PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2011

PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS STRONTIUM TITANAT (SrTiO_3) DI ATAS SUBSTRAT SILIKON (Si) DENGAN METODE CHEMICAL BATH DEPOSITION (CBD)

Oleh : Hadi Kurniawan

(dibimbing oleh Dr. Dahyunir Dahlan, M.Si dan Astuti, M.Si)

RINGKASAN

Perkembangan teknologi saat ini ditandai dengan makin kecilnya devais-devais elektronik akan tetapi kemampuannya meningkat. Untuk membuat devais tersebut dibutuhkan suatu peralatan yang canggih dan teknologi yang rumit. Salah satu devais tersebut adalah lapisan tipis yang digunakan dalam komponen elektronik yaitu kapasitor Metal Oxide Semiconductor (MOS). Kapasitor ini dapat dibuat dari bahan strontium Titanat (SrTiO_3) yang memiliki potensi sebagai bahan dielektrik dengan konstanta yang besar. Untuk membuat lapisan tipis SrTiO_3 dilakukan dengan metode Chemical Bath Deposition (CBD) yaitu dengan cara merendam substrat Silikon (Si) dalam larutan SrTiO_3 .

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas dan karakterisasi di Batan Tenaga Atom dan Nuklir (BATAN) PUSPITEK Serpong. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah : 1. Melakukan penumbuhan lapisan tipis SrTiO_3 dengan metode CBD. 2. Melakukan karakterisasi bahan dengan I V meter, X-RD dan SEM. 3. Menganalisis sifat-sifat listrik dan fisis bahan tersebut. Hasil dari penelitian ini meunjukkan lapisan tipis SrTiO_3 telah terbentuk dengan ketebalan terbesar 47 nanometer dan kapasitansi terbesar 360 pF. Sementara itu hasil analisis X-RD menunjukkan terbentuknya kristal SrTiO_3 dengan ukuran kristal sebesar 53,548 nm dan 13,740 nm, konstanta dielektrik sebesar 216,214 dan 159,759 dihitung dari jari-jari partikel. Karakterisasi dengan menggunakan SEM tidak memperlihatkan ukuran butir partikel walaupun dengan perbesaran 30.000 kali, hal ini dikarenakan lapisan tipis dalam orde nanometer. Akan tetapi hasil SEM ini menunjukkan adanya deposisi yang homogen pada sampel A dan C.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Muaro Bulian pada tanggal 4 Maret 1985, merupakan anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Zulman Firdaus dan Ibu Yusrita. Menamatkan Sekolah Dasar (SD) 06 Pantai Cermin Palangki pada tahun 1997, Madrasah Tsanawiyah Palangki pada tahun 2000 dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 1 Sijunjung pada tahun 2003 di Kabupaten Sijunjung. Pada tahun 2003 penulis melanjutkan pendidikan di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Andalas, Jurusan Fisika dan menyelesaikan studi pada tahun 2009. Kemudian penulis mendapatkan kesempatan melanjutkan pendidikan Strata 2 di Pascasarjana Universitas Andalas Padang, Program Studi Fisika.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa ini Tesis yang ditulis dengan judul:

**PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS STRONTIUM TITANAT (SrTiO_3) DI ATAS
SUBSTRAT SILIKON (Si) DENGAN METODE CHEMICAL BATH
DEPOSITION (CBD).**

Adalah hasil kerja/ karya saya sendiri dan bukan merupakan jiplakan dari hasil karya orang lain, kecuali kutipan pustaka yang sumbernya dicantumkan. Jika kemudian hari pernyataan ini tidak benar, maka status kelulusan dan gelar yang saya peroleh menjadi batal dengan sendirinya.

Padang, Mei 2011

Yang Membuat Pernyataan

Hadi Kurniawan

0921220007

ABSTRAK

Telah berhasil dilakukan penumbuhkan lapisan tipis strontium titanat (SrTiO_3) di atas substrat silikon (Si) dengan metode chemical bath deposition (CBD). Sifat listrik diukur menggunakan struktur kapasitor metal oksida semikonduktor (MOS) dan didapatkan kapasitansi terbesar 360 pF pada ketebalan lapisan 15,98 nm. Karakterisasi XRD menunjukkan terbentuknya lapisan tipis strontium titanat (SrTiO_3) dengan ukuran kristal 53,767 nm dan 13,74 nm. SEM dilakukan pada sampel menunjukkan bahwa lapisan tipis terdepositasi merata di atas substrat silikon (Si). Hasil penghitungan menunjukkan konstanta dielektriknya tinggi yaitu 216,214 dan 159,759.

Kata Kunci : Kapasitansi, Metal Oksida Semikonduktor (MOS), Chemical Bath Deposition (CBD), XRD, SEM, Strontium Titanat (SrTiO_3), Konstanta Dielektrik.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Solawat serta salam takkan pernah habis untuk Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, para sahabat dan umatnya yang senantiasa mengikuti risalahnya.

Penelitian yang berjudul **“PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS STRONTIUM TITANAT (SrTiO_3) DI ATAS SUBSTRAT SILIKON (Si) DENGAN METODE CHEMICAL BATH DEPOSITION (CBD)”** diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister sains (M.Si) pada program studi Fisika, Pascasarjana, Universitas Andalas Padang.

Penulisan tesis ini tak lepas dari berbagai kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu saran dan kritik sangat diharapkan, agar penelitian dapat menjadi sumbangan yang bermanfaat bagi kita semua

Padang, Mei 2011

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1. Latar Belakang Penulisan.....	1
2. Rumusan Masalah.....	2
3. Tujuan Penelitian	3
4. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 . Strontium Titanat (SrTiO_3).....	4
2.2 . Teknologi Chemical Bath Deposition (CBD).....	6
2.3 . Gerbang dielektrik pada MOS.....	7
2.4 . Bahan Dielektrik.....	7
2.5 . Karakterisasi Lapisan Tipis.....	10
2.5.1. Scanning Electron Microscopy (SEM).....	10
2.5.2. X- ray Diffractometer (XRD).....	11

2.5.3. Resistansi Listrik dan Ketebalan Film Tipis.....	15
---	----

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
3.2. Bahan dan alat yang Digunakan	17
3.3. Tata Laksana Penelitian.....	18

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil pelarutan strontium titanat dengan variasi konsentrasi.....	23
4.2. Analisis Arus (I) dan Tegangan (V).....	23
4.2.1 Rapat arus dan tegangan.....	28
4.3. Analisis hasil X-RD (Difraksi sinar X).....	30
4.3.1. Analisis Sampel A.....	30
4.3.2. Analisis Sampel C.....	32
4.3.3. Konstanta dielektrik.....	34
4.5. Analisis hasil Scanning Elektron Mikroskopi (SEM).....	36
4.5.1. Morfologi Sampel B.....	37
4.5.2. Morfologi Sampel C.....	38

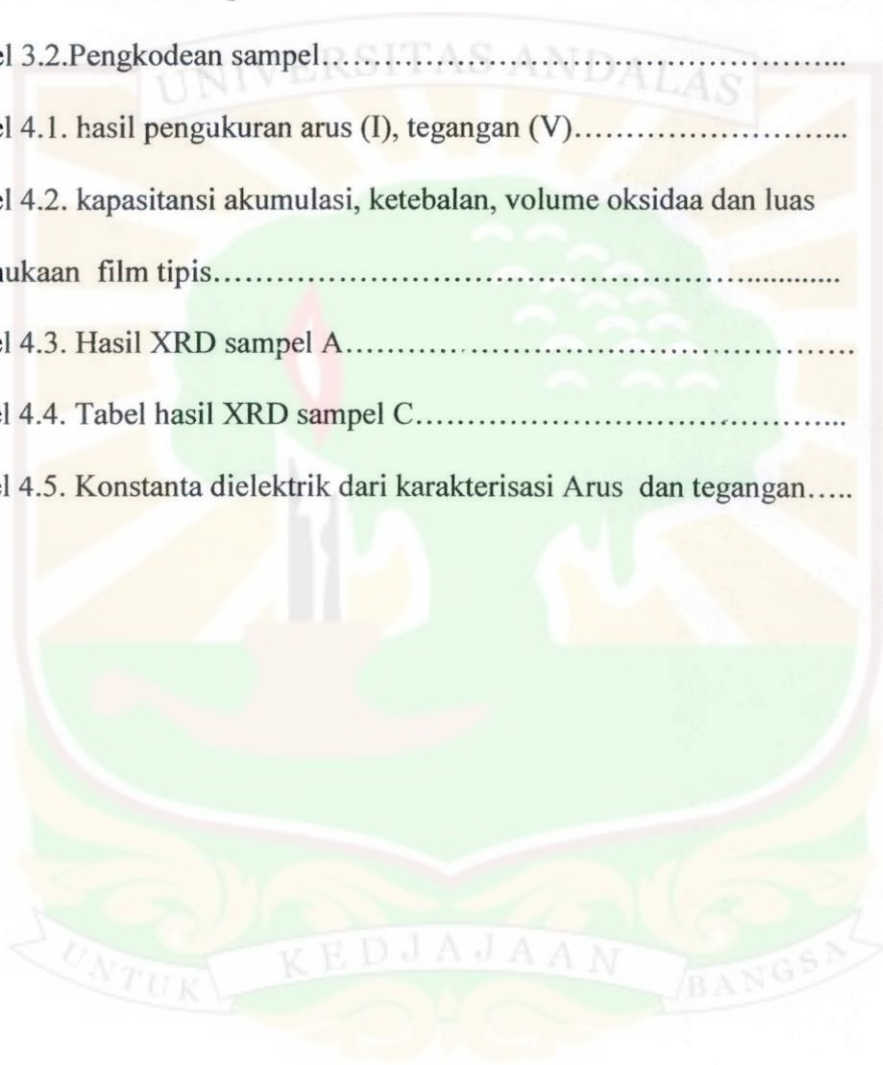
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	39
5.2. Saran.....	40

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Tabel 3.1 Konsentrasi pembuatan larutan.....	20
2. Tabel 3.2. Pengkodean sampel.....	21
3. Tabel 4.1. hasil pengukuran arus (I), tegangan (V).....	24
4. Tabel 4.2. kapasitansi akumulasi, ketebalan, volume oksidaa dan luas permukaan film tipis.....	27
5. Tabel 4.3. Hasil XRD sampel A.....	31
6. Tabel 4.4. Tabel hasil XRD sampel C.....	33
7. Tabel 4.5. Konstanta dielektrik dari karakterisasi Arus dan tegangan.....	35



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Gambar 2.1. Kristal Strontium Titanat	4
2. Gambar 2.2. Metode CBD.....	6
3. Gambar 2.3. Dielektrik pada kapasitor.....	9
4. Gambar 2.4. Pantulan sinar-X oleh bidang atom S1 dan S2	12
5. Gambar 2.5. Skema Difraktometer Serbuk.....	13
6. Gambar 3.1. skema deposisi film tipis SrTiO ₃	19
7. Gambar 4.1. Kurva perbandingan arus (I) dan tegangan (V).....	26
8. Gambar 4.2. Perbandingan rapat arus (J) dengan tegangan (V).....	29
9. Gambar 4.3. Grafik hasil XRD sampel A.....	30
10. Gambar 4.4. Grafik hasil XRD sampel C.....	32
11. Gambar 4.5. Struktur morfologi permukaan lapisan tipis SrTiO ₃ sampel A.	36
12. Gambar 4.6. Struktur morfologi permukaan lapisan tipis SrTiO ₃ sampel B.	37
13. Gambar 4.7. Struktur morfologi permukaan lapisan tipis SrTiO ₃ sampel C.	38

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. LAMPIRAN 1. Penghitungan tebal oksida, kurva arus dan kapasitansi terhadap tegangan.....	44
2. LAMPIRAN 2. Kurva rapat arus (J) dan Tegangan (V).....	56
3. LAMPIRAN 3. Perbandingan ukuran Kristal.....	57
4. LAMPIRAN 4. Penghitungan konstanta dielektrik.....	58
5. LAMPIRAN 5. DATA JCPDS.....	60
6. LAMPIRAN 6. Gambar alat yang digunakan.....	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Teknologi semikonduktor mengalami perkembangan yang pesat, mulai dari penemuan bahan, teknik pembuatan maupun aplikasinya di bidang elektronika dan optoelektronik. Penemuan bahan semikonduktor yang paling sederhana dimulai dengan ditemukannya silikon, germanium sampai dengan ditemukannya bahan semikonduktor paduan. Lapisan tipis adalah suatu lapisan dengan ketebalan orde mikrometer dari bahan organik ataupun anorganik, metal maupun campuran metal organik yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor maupun isolator (Darsikin, 2005). Lapisan tipis yang dibuat dengan teknik penumbuhan atom atau partikel pada permukaan substrat dengan ketebalan sampai orde mikrometer semakin banyak diteliti dan dimanfaatkan. Sifat umum lapisan tipis dari suatu bahan berbeda dengan bahan padatan, karena proses preparasi (misalnya: *evaporasi*, *sputtering*), geometri (ukuran panjang, tebal dan lebar) komposisi dan strukturnya (Darsikin, 2005). Sifat-sifat lapisan tipis yang ditumbuhkan dapat dimodifikasi sesuai dengan tujuan penerapannya.

Berbagai bahan yang memiliki potensi sebagai semikonduktor telah banyak diteliti, mulai dari bahan yang memiliki sifat fotokatalis, *magnetis storage* dan

dielektrik. Strontium titanat (SrTiO_3) sebagai bahan oksida telah banyak diteliti. Material dengan struktur perovskit ini banyak digunakan sebagai material dielektrik dalam kapasitor, konduktor ion oksigen dalam sebuah sensor, substrat dalam bahan superkonduktor atau sebagai material piezoelektrik dalam aktuator (Bentham, 2001). Dengan keunggulan tersebut maka bahan strontium titanat banyak dibuat dalam bentuk lapisan tipis. Pembuatan yang telah dilakukan dengan menggunakan *Molecular Beam Epitaxy* (MBE), *Metalorganic Chemical Vapour Deposition* (MOCVD) dan *Spin Coating*. Dalam penelitian kali ini dilakukan pendeposisian dengan cara *Chemical Bath Deposition*. Cara ini dinilai memiliki keunggulan dibandingkan dengan cara lain, diantaranya adalah proses penumbuhan lebih sederhana, biaya yang lebih hemat dan hasil deposisi yang bagus.

1.2. Rumusan masalah

Sebagai bahan semikonduktor Strontium Titanat dapat dideposisikan dengan berbagai cara. Salah satu cara yang digunakan adalah pendeposisian dengan cara kimia basah, yaitu melarutkan bahan semikonduktor dengan larutan kimia sehingga larutan tersebut homogen. Kemudian lapisan tipis dideposisikan dengan cara mencelupkan substrat ke dalam larutan (*Chemical Bath Deposition*) dengan mengatur konsentrasi larutan, suhu dan waktu pengadukan.

1.3. Tujuan penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penumbuhan lapisan tipis ke substrat silikon dengan cara merendam substrat kedalam larutan strontium titanat.
2. Melakukan karakterisasi dengan menggunakan Difraksi sinar X (X-RD), Mikroskop Elektron (SEM) dan karakterisasi arus (I) tegangan (V).
3. Menganalisis sifat-sifat fisis dan sifat-sifat elektrik dari hasil karakterisasi.

1.4. Manfaat Penelitian

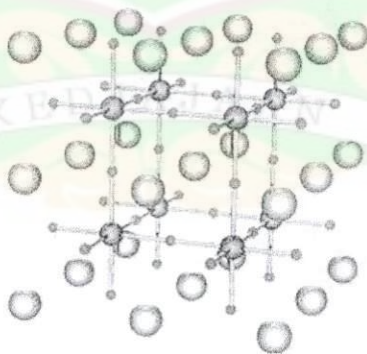
Manfaat dari penelitian ini adalah mendapatkan lapisan tipis oksida yang berfungsi sebagai bahan dielektrik pada kapasitor *Metal Oxide Semiconductor* (MOS). Menambah informasi tentang cara pendeposisian Strontium Titanat (SrTiO_3) di atas substrat silikon, sehingga pendeposisian dapat dilakukan dengan cara yang praktis dan sederhana

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Strontium Titanat (SrTiO_3)

Strontium titanat adalah suatu oksida dari strontium dan titanium dengan rumus kimia SrTiO_3 . Pada suhu kamar merupakan material simetris terpusat dengan struktur Perovskit. Sedangkan pada suhu rendah material ini mendekati peralihan fase dielektrik dengan konstanta yang lebih besar dari 10^4 , dan berubah menjadi material paraelektrik pada suhu yang sangat rendah sekali. Awal penemuannya strontium titanat disebut dengan tausonit yang memiliki ukuran kristal yang sangat kecil. Densitasnya $5,13 \text{ g/cm}^3$, struktur kristalnya kubik, dengan indeks bias 2,41 yang diukur dengan cahaya sodium dengan panjang gelombang 589,3 nm dan titik leleh pada 2080°C . Struktur kristal SrTiO_3 dapat dilihat dari Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kristal Strontium Titanat (SrTiO_3), biru adalah Ti, merah oksigen dan abu-abu adalah Sr (Sumber: Wikipedia)

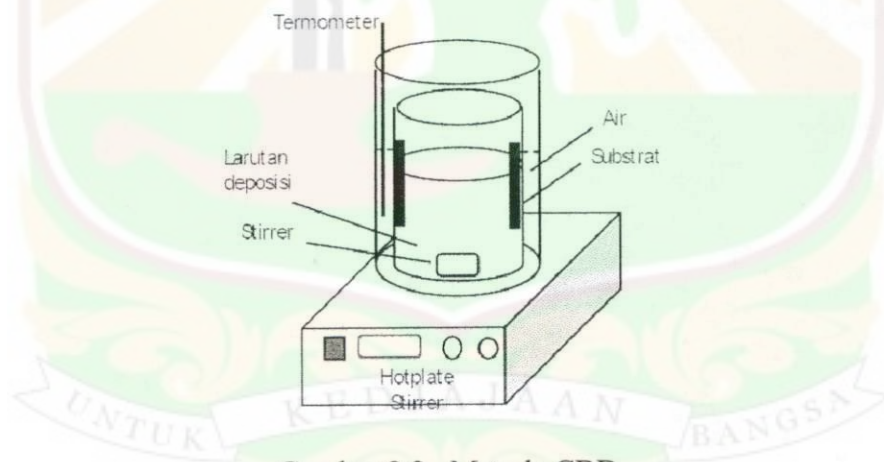
Strontium Titanat (SrTiO_3) adalah bahan yang telah diketahui dapat mempengaruhi aktifitas fotokatalis, lebar daerah deplesinya ketika menjadi semikonduktor memiliki energi sebesar 3,2 eV, panjang cahaya ultravioletnya kecil dari 387 nm. Hal tersebut menyebabkan bahan Strontium titanat dapat memindahkan elektron atau pasangan hole dengan eksitasi cahaya. Biasanya dapat digunakan untuk menangkap cahaya tampak. Untuk pengembangannya sebagai bahan yang digunakan untuk fotokatalis dibawah cahaya tampak, maka logam-logam transisi didopingkan ke bahan TiO_2 untuk melihat penyerapan dibawah cahaya merah. Dapat disimpulkan bahwa peningkatan fotoaktifitas dari semikonduktor juga disebabkan oleh penurunan ukuran partikel, hal ini dikarenakan jarak difusi antara elektron dan hole semakin kecil. Akibatnya hole dan elektron dapat ditangkap secara efektif oleh larutan elektrolit (Chia-Hao Chang, 2005).

Strontium titanat (SrTiO_3) memiliki struktur perovskite, oleh karena itu dapat digunakan sebagai bahan dielektrik yang sangat tipis dalam bidang mikroelektronik karena memiliki konstanta dielektrik yang tinggi sehingga arus bocor yang dihasilkan kecil. Bahan ini telah berhasil ditumbuhkan secara epitaksi diatas wafer silikon yaitu dengan cara *molecular beam epitaxy* (MBE), *metalorganic chemical vapour deposition* (MOCVD) dan *pulsed laser ablation deposition* (PLAD). Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa Strontium Titanat dapat digunakan sebagai gerbang dielektrik pengganti silicon oksida (SiO_2) untuk kapasitor *metal oxide semikonduktor* (MOS) (Darsikin, 2005).

2.2. Teknologi *Chemical Bath Deposition* (CBD)

Teknologi pendeposisian kimia basah atau disebut juga dengan *Chemical Bath Deposition* adalah teknologi pendeposisian lapisan tipis dengan cara melarutkan bahan semikonduktor didalam larutan asam atau larutan polimer yang bisa membuat bahan tersebut menjadi koloid. Pemilihan larutan penyangga tersebut haruslah sesuai dengan bahan atau substrat yang akan dilapisi.

Deposisi dengan cara ini sangat sederhana sekali. Untuk menghasilkan lapisan tipis yang bagus diperlukan pemilihan konsentrasi bahan yang tepat. Suhu, waktu dan kecepatan pengadukan harus diperhatikan agar larutan yang dibuat terlarut secara homogen. Deposisi dengan CBD dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Metode CBD

Sumber : Akhiruddin Maddu (2009)

Substrat yang telah dipreparasi direndam kedalam larutan dan dibiarkan dalam beberapa jam sehingga larutan dapat terdepresiasi sempurna diatas substrat.

2.3. Gerbang Dielektrik pada MOS

Didalam suatu komponen elektronika seperti pada *metal oxide semikonduktor* (MOS), *metal oxide semikonduktor field effect transistor* (MOSFET) memiliki bahan dielektrik sebagai komponen utamanya. Bahan dielektrik adalah bahan nonkonduktor yang bermuatan listrik. Pada bahan ini medan listrik yang diberikan menyebabkan pergeseran muatan dan bukan aliran muatan. Umumnya elektron didalam atom suatu bahan dielektrik dipindahkan terhadap inti oleh suatu medan yang bekerja, sehingga menyebabkan dipol yang memiliki momen listrik yang searah dengan medan. Tegangan yang dihasilkan dalam bahan tersebut disebut dengan polarisasi listrik (P) pada persamaan (2.1).

$$P = D - E\epsilon_0 \quad (2.1)$$

D merupakan pergeseran, E kuat medan magnet dan ϵ_0 merupakan konstanta dielektrik (Alan Isaacs, 1994).

2.4. Bahan Dielektrik

Jika tegangan searah (dc) diberikan pada suatu kapasitor, antara kedua plat yang satu bermuatan positif dan yang lainnya bermuatan negatif tergantung polaritas medan listrik positif dan negatif. Besarnya kapasitansi C tergantung muatan Q yang tersimpan antara kedua plat.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.2)$$

Dimana V adalah tegangan yang diberikan pada kapasitor. Satuan kapasitansi coulomb per volt atau Farad. Suatu kapasitor plat sejajar yang berisi udara antara kedua plat seperti pada gambar, maka kapasitansi dapat diketahui dengan persamaan,

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{l} \quad (2.3)$$

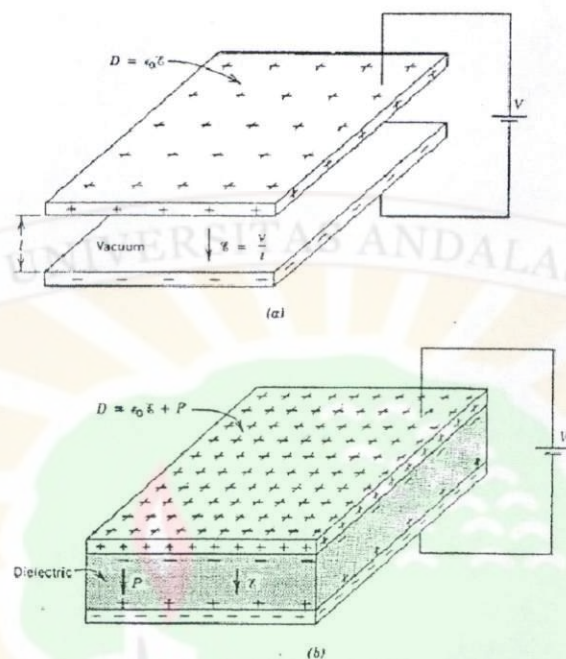
Dimana A luas plat, l jarak antara kedua plat, ϵ_0 permitivitas udara (kapasitansi dalam vakum) dengan nilai $8,854 \times 10^{-12}$ Farad/m. Jika material dielektrik dimasukkan diantara kedua plat, maka kapasitansi adalah

$$C = \epsilon \frac{A}{l} \quad (2.4)$$

Dimana ϵ adalah permitivitas material dielektrik yang biasanya lebih besar 0. Permitivitas relatif adalah ϵ_r juga sering disebut konstanta dielektrik, yaitu rasio antara permitivitas material dielektrik dengan permitivitas udara.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (2.5)$$

Jika nilai ϵ_r lebih besar dari satu, menunjukkan lebih tinggi kapasitas muatan material dielektrik dari udara antara kedua plat. Konstanta dielektrik merupakan salah satu sifat material yang dijadikan pertimbangan dalam mendesain kapasitor dan isolator. Bahan dielektrik pada kapasitor ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.3. dielektrik pada kapasitor

Menurut Mikrajuddin Abdullah (2010), konstanta dielektrik material juga dipengaruhi oleh dimensi material. Makin kecil dimensi material maka makin kecil konstanta dielektrik material tersebut. Lapisan tipis memiliki konstanta dielektrik lebih kecil daripada material bulk (ukuran besar). Dan nanopartikel memiliki konstanta lebih kecil lagi. Salah satu kebergantungan konstanta dielektrik nanopartikel pada ukuran diberikan oleh persamaan

$$\varepsilon(R) = 1 + \frac{\varepsilon(\infty)-1}{1+(\frac{\alpha}{R})^l} \quad (2.6)$$

Dengan $\varepsilon(\infty)$ adalah konstanta dielektrik material dalam bentuk bulk, R adalah jari-jari partikel, α dan l adalah konstanta-konstanta. Untuk strontium titanat konstanta dielektrik dalam bentuk bulk bernilai 250, $\alpha = 3,905$ dan $l = 1$ (TRAK Ceramics, 2010).

2.5. Karakterisasi Lapisan tipis

Karakterisasi pada lapisan tipis bertujuan untuk melihat sifat-sifat fisis dari material yang telah dibuat. Setiap sifat fisis yang dilihat dapat digunakan untuk menentukan apakah penelitian yang dilakukan itu berhasil atau tidak sesuai dengan tujuannya. Adapun karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah.

2.5.1. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Scanning electron microscopy adalah salah satu mikroskop elektron yang mampu melakukan pembesaran hingga 2 juta kali pembesaran, dimana pada prinsipnya menggunakan elektrostatik dan elektromagnetik untuk mengontrol pencahayaan dan tampilan gambar. SEM digunakan untuk memindai bentuk permukaan secara tiga dimensi.

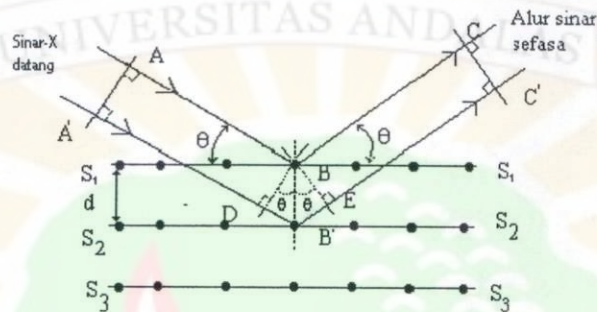
Cara terbentuknya gambar pada SEM berbeda dengan apa yang terjadi pada mikroskop optic dan TEM. Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru (elektron sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut dipindai dengan sinar elektron. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (*cathode ray tube*). Di layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pada proses operasinya, SEM tidak memerlukan sampel yang ditipiskan, sehingga bisa digunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang 3 dimensi .

Prinsip operasi SEM adalah fokus berkas sinar elektron berenergi tinggi (10 keV) discan melintang pada permukaan sampel menghasilkan *secondary electron*, *backscattered electron*, karakteristik sinar-x dan beberapa elektron yang keluar dari permukaan. Gambar *secondary electron* menunjukkan topografi permukaan tampak lintang. Berkas *secondary electron* dari sampel dideteksi dengan layar phosphor. Layar akan memancarkan cahaya dan intensitas cahaya diukur dengan photomultiplier. Elektron mungkin menumbuk inti atom dan akan kembali ke tabung vakum, elektron ini yang dikenal sebagai *backscattered primaries* dan dapat dideteksi dengan *backscattered electron*. *Backscattered electron* dapat memberikan informasi topografi permukaan dan jumlah rata-rata atom pada area dibawah berkas sinar elektron. Sinyal dikumpulkan oleh detektor untuk membentuk gambar dari sampel dan data output ditampilkan pada tabung sinar katode.

2.5.2. X- ray Diffractometer (XRD)

Sinar-X yang dipantulkan, dibiaskan dan diteruskan apabila melalui suatu bahan. Andaikan garis-garis S1 S1, S 2 S2 dan S3 S3 seperti gambar 2.2, mewakili bidang-bidang atom yang sejajar dengan permukaan hablur dan dipisah satu sama lain pada jarak, d . Andaikan garis-garis AB dan A¹B¹ mewakili lintasan alur sinar-X pada panjang gelombang yang menuju ke bidang-bidang hablur pada sudut θ terhadap bidang dan masing-masing dipantulkan dalam arah BC dan B¹C¹. Supaya gelombang dari B θ dapat menguatkan gelombang yang dipantulkan dari B di C C¹, kedua

gelombang harus sefasa. Dengan kata lain, beda lintasan antara gelombang $A^1B^1C^1$ terhadap gelombang ABC mestilah merupakan kelipatan bulat panjang gelombang sinar-X itu. Alur penyinaran dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4: Pantulan sinar-X oleh bidang atom S_1 dan S_2 terpisah pada jarak d (sumber : Asmuni, 2000)

$$(A^1B^1 + B^1C^1) - (AB + BC) = n\lambda \quad (2.7)$$

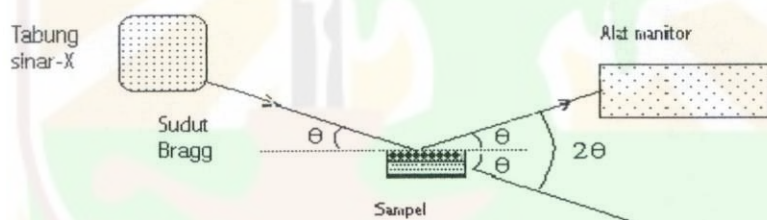
Oleh sebab $DB^1 = B^1E = d \sin \theta$, maka syarat di atas dipenuhi apabila:

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) dinamakan sebagai syarat Bragg dan sudut θ dikenal sebagai sudut Bragg untuk penyinaran sinar-X oleh bidang-bidang atom hablur yang dipisahkan pada jarak d dan $n = 1, 2, 3$.

Karakterisasi lapisan tipis biasanya menggunakan metode difraktometri. Metode difraktometri serbuk ialah untuk mencatat difraksi sampel polihablur. Pada

penelitian ini yang digunakan alat difraktometer, seperti gambar 2.5. Sampel seperti serbuk dengan permukaan rata dan mempunyai ketebalan yang cukup untuk menyerap alur sinar-X yang menuju keatasnya. Puncak-puncak difraksi yang dihasil dituliskan dengan menggunakan alat pencacah. Umumnya menggunakan pencacah Geiger dan sintilasi. Alat monitor dapat diputar mengelilingi sampel dan diatur pada sudut 2θ terhadap alur datang. Alat monitor diijarkan supaya sumbunya senantiasa melalui dan bersudut tepat dengan sumbu putaran sampel. Intensitas sinar-X yang difraksi sebagai fungsi sudut 2θ . Skema penyinaran sampel serbuk dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Skema Difraktometer Serbuk.
Sumber : Asmuni (2000)

Metode difraktometri digunakan juga untuk mengukur ukuran hablur bagi sampel polihablur berbentuk saput. Dari lebar jalur garis-garis difraksi, ukuran hablur, film dapat ukur dengan persamaan Scherrer (Cullity, 1956)

$$D = \frac{K\lambda}{B \cos \theta} \quad (2.9)$$

dengan B adalah sudut garis difraksi di setengah tinggi maksimum difraksi, θ , sudut Bragg, K konstanta yang besarnya 0,9 dan λ panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Untuk difraksi sinar-X, sampel disediakan dengan ukur berbentuk serbuk. Peralatan yang digunakan adalah XRD Philips model 1710. Difraksi sinar-x dicetakkan pada kertas dengan sumber pancaran radiasi Cu Ka dan dengan filter nikel. Analisis XRD berdasarkan difraksi terhadap bahan standar silikon dengan sudut, θ , 14.233° dan spektrum difraksi pada orientasi (111). Data difraksi sinar-X dari sampel dibandingkan dengan kartu JCPDS (*Joint Committee Powder Diffraction Standard*).

Dari nilai difraksi sinar-X yang menghasilkan intensitas dan sudut difraksi, dianalisis untuk menentukan sampel merupakan hablur senyawa pasir kuarsa. Pada metode difraksi, hukum Bragg haruslah dipenuhi, karena itu perlu diatur orientasi kristal terhadap berkas datang. Metode difraksi sinar-x dapat digolongkan sebagai berikut :

1. Metode kristal tunggal

Metode ini sering digunakan untuk menentukan struktur kristal, dalam ini dipakai berbentuk kristal tunggal.

2. Metode serbuk (*powder Method*)

Bahan sampel pada metode ini dibuat berbentuk serbuk, sehingga terdiri banyak Kristal yang sangat kecil dan orientasi sampai tidak perlu diatur lagi karena semua orientasi bidang telah ada dalam sampel dengan demikian hukum Bragg dapat dipenuhi. Metode lebih cepat dan lebih sederhana dibandingkan dengan metode

kristal tunggal. Metode serbuk ini dapat digunakan untuk menganalisa bahan apa yang terkandung di dalam suatu sampel juga dapat ditentukan secara kuantitatif. Pada penelitian ini dipergunakan metode serbuk.

2.5.3 Resistansi Listrik dan Ketebalan Lapisan tipis

Salah satu parameter penentu terbentuknya lapisan tipis yang dideposisikan diatas substrat adalah berubahnya ketebalan dan resistansi listrik dari bahan tersebut. Menurut hukum Ohm resistansi material metal dapat dihitung dengan.

$$R = \rho L / tw \quad (2.10)$$

Dimana L adalah panjang sampel, w adalah lebar sampel, t ketebalan sampel, ρ adalah resistifitas listrik dari bahan yang digunakan (Weller, 2001). Resistivitas listrik bahan adaah suatu konstanta. Dari persamaan 1 dapat didefenisikan bahwa

$$t = \rho L / R \quad (2.11)$$

dimana $M = L/w$ adalah hubungan slender, kemudian ketebalan dapat dirumuskan sebagai berikut

$$t = \rho M / R \quad (2.12)$$

pengukuran ini dilakukan dua kali yaitu sebelum dan sesudah pelapisan. Jadi dengan perubahan resistivitas listrik yang terjadi pada film yang dideposisikan dapat dijadikan sebagai parameter penentu ketebalan lapisan tipis yang terbentuk.

Ada dua pendekatan untuk menentukan ketebalan lapisan tipis. Pendekatan yang pertama dapat dilakukan adalah

$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{\rho M}{R_f} - \frac{\rho M}{R_i} = \rho M \left[\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i} \right] = \rho M \left[\frac{R_i - R_f}{R_i R_f} \right] \quad (2.13)$$

Dimana R_i adalah resistivitas lapisan tipis sebelum dideposisikan, sedangkan R_f adalah resistansi listrik sesudah dideposisikan ke substrat. Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa resistansi listrik berkurang ketika ketebalan lapisan tipis meningkat. Ketebalan lapisan tipis sebelum deposisi dapat dihitung dengan $t_i = \rho M / R_i$, dan sesudah deposisi diberikan oleh $t_f = \rho M / R_f$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat, untuk preparasi larutan koloid dan pendeposisian ke substrat dilakukan di laboratorium Material jurusan Fisika Universitas Andalas, sedangkan untuk karakterisasi lapisan tipis yang terbentuk dilakukan di Badan tenaga atom dan nuklir (BATAN) PUSPITEK Serpong. Pendeposisian dimulai pada bulan November dan diakhiri dengan karakterisasi di bulan Februari 2011, sedangkan pengolahan data pada bulan Maret 2011.

3.2. Bahan dan alat yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah wafer silikon tipe n buatan Virginia State sebagai substrat, Strontium chlorite (SrCl_2) buatan MERCK Jerman, titanium dioksida (TiO_2) BRATACHEM Bandung, citrit acid ($\text{CH}_3(\text{OH})(\text{COOH})_3$) MERCK Jerman untuk pengatur ukuran partikel, hidrofluorik acid (HF) MERCK Jerman sebagai pelarut TiO_2 , ethylene glycol ($\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) MERCK Jerman sebagai templat dan ethanol sebagai penyumbang unsur oksigen. Sedangkan alat-alat yang digunakan antara lain alat-alat gelas seperti gelas piala, gelas takar, gelas reaksi dan pengaduk untuk melakukan pengenceran larutan. *Hotplate magnetik stirrer* untuk pemanasan dan pengadukan larutan. Oven merek Memmert untuk pengeringan dan

pemanasan substrat, Ultrasonic Cleaner untuk membersihkan substrat. Sedangkan untuk karakterisasi alat yang digunakan adalah X-RD merek PHILIPS tipe APD 3520 untuk melihat kekristalan lapisan tipis, SEM merek JEOL JSM-6510 untuk mencitra permukaan lapisan tipis, LCRmeter dan multimeter HELLES untuk mengukur arus, resistivitas, kapasitansi dan tegangan pada lapisan tipis, Power Suplay merek HELLES sebagai sumber tegangan. *Copper tape* sebagai kontak metal kapasitor.

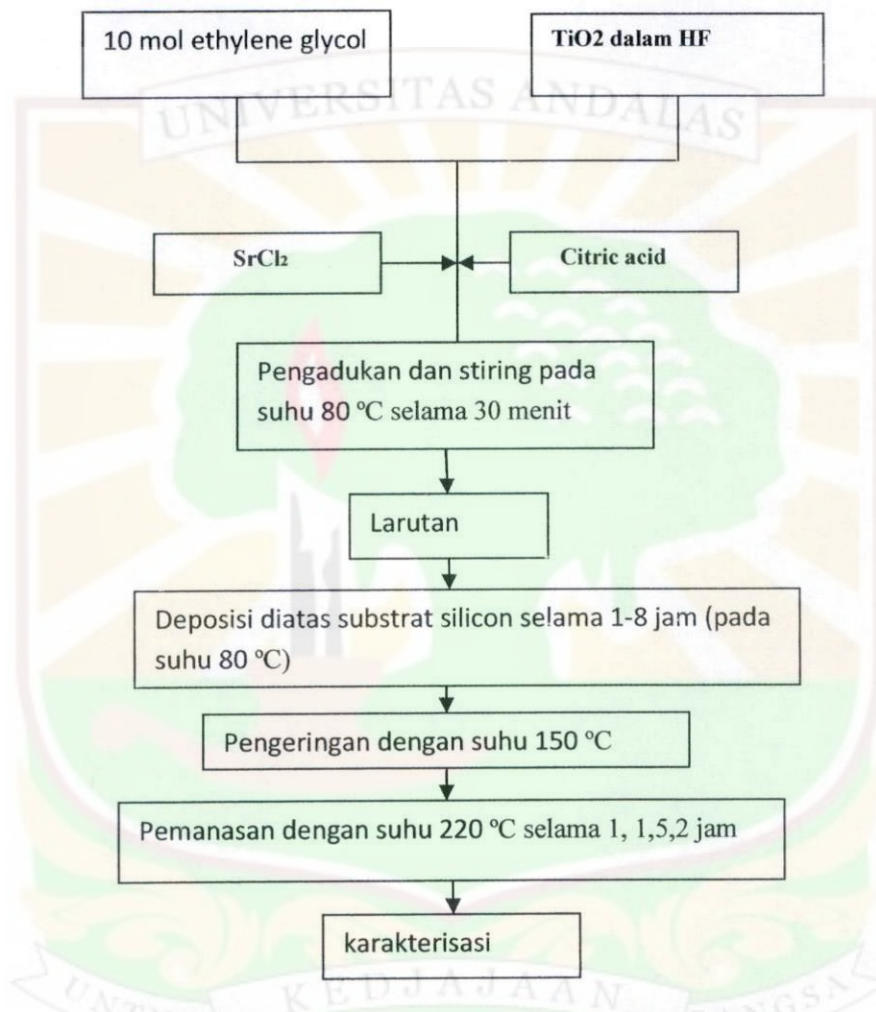
3.3. Tata Laksana Penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu diawali dengan penyiapan bahan dan larutan stok. Pencucian substrat dilakukan setelah itu, kemudian diikuti dengan pembuatan larutan pelapis dan perendaman substrat. Setelah dilakukan langkah-langkah tersebut maka sampel siap dikarakterisasi.

3.3.1. Preparasi sampel

Wafer silikon yang akan digunakan sebagai substrat dipotong dengan ukuran 1x0,5 cm dan dicuci terlebih dahulu dengan menggunakan aseton dan methanol, masing-masing 10 menit dalam wadah penggetar ultrasonik, untuk menghilangkan kotoran organik. Kemudian dilakukan pembersihan organik yang tidak larut dalam air dengan menggunakan larutan $H_2O:NH_4OH:H_2O_2$, kemudian menghilangkan lapisan silikon dioksida dengan menggunakan $H_2O:HF$ dengan perbandingan 50:1. Langkah ketiga adalah mencuci wafer dengan HCl yang ditambah H_2O_2 (30%) untuk menghilangkan kontaminan ionik dan logam berat. kemudian substrat dapat

dikeringkan di dalam oven dengan suhu 150°C selama 60 menit. Skema penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. skema deposisi lapisan tipis SrTiO_3 .

3.3.2. Pembuatan larutan strontium titanat

Pembuatan larutan tersebut divariasikan konsentrasi. Semua bahan dasar pembentuk strontium titanat di masukkan kedalam gelas reaksi untuk diaduk dengan menggunakan *Hotplate magnetik stirrer*. Reaksi kimia pada pelarutan ini adalah:

$\text{SrCl}_2 + \text{TiO}_2 + \text{HF} + (\text{CH}_3(\text{OH})(\text{COOH}_3) + (\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}) \rightarrow \text{SrTiO}_3$ (bahan lain menguap akibat pemanasan dengan oven). Adapun konsentrasi dan waktu pengadukan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Konsentrasi pembuatan larutan

No	Larutan	Citrid acid (gram)	SrCl ₂ (gram)	Ethanol (ml)	Campuran		Ethylene glycol (ml)
					TiO ₂ (gram)	HF (ml)	
1	1	2	2,5	2	0,3	6	10
2	2	1	2	4	0,5	6	10
3	3	0,5	3	1	0,1	6	10
4	4	3	3	2	0,1	6	10
5	5	3	3	-	1	6	10

Masing-masing larutan dilakukan perendaman substrat silikon selama 60 menit pada suhu 80 °C. Dari 5 macam larutan yang tersebut dipilih larutan yang berwarna pekat dibanding larutan lain dan siap dideposisikan ke substrat dengan cara mencelupkan substrat ke dalam larutan selama 1,5 jam, 2,5 jam dan 8 jam dengan pemanasan *hotplate* pada suhu 80 °C dan dikeringkan di oven dengan suhu 150 °C. Lapisan yang menempel paling baik dibuat 3 sampel, dan diikuti proses dekomposisi

pada temperatur 220 °C selama 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam untuk menghilangkan komponen organik dan proses kristalisasi. Sampel diberi inisial A,B dan C.

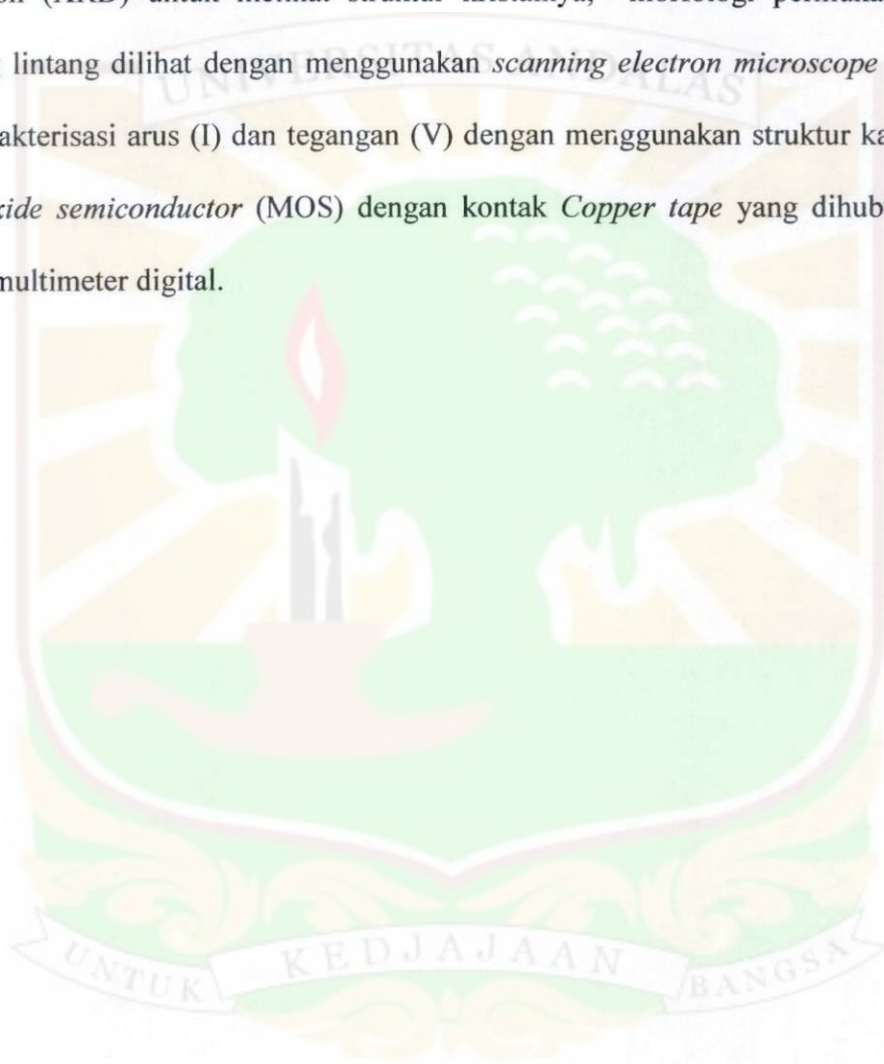
Untuk memudahkan deskripsi sampel maka dilakukan pemberian inisial sampel seperti pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Pengkodean sampel

No	Sampel	Deskripsi
1	A	Sampel yang direndam pada larutan 4 selama 8 jam, dan dibakar pada suhu 220 ⁰ C selama 1 jam
2	B	Sampel yang direndam pada larutan 4 selama 8 jam, dan dibakar pada suhu 220 ⁰ C selama 1,5 jam
3	C	Sampel yang direndam pada larutan 4 selama 8 jam, dan dibakar pada suhu 220 ⁰ C selama 2 jam
4	D	Sampel yang direndam pada larutan 4 selama 2,5 jam
5	E	Sampel yang direndam pada larutan 4 selama 1,5 jam
6	F	Sampel yang direndam pada larutan 3 selama 2 jam
7	G	Sampel yang direndam pada larutan 3 selama 5 jam
8	H	Sampel yang direndam pada larutan 1 selama 2 jam
9	I	Sampel yang direndam pada larutan 3 selama 1,5 jam
10	J	Sampel yang direndam pada larutan 5 selama 1 jam
11	K	Sampel yang direndam pada larutan 1 selama 1 jam
12	L	Sampel yang direndam pada larutan 2 selama 1 jam

3.3.3. Karakterisasi

Lapisan tipis yang terbentuk dikarakterisasi dengan menggunakan X-ray diffraction (XRD) untuk melihat struktur kristalnya, morfologi permukaan dan tampak lintang dilihat dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dan karakterisasi arus (I) dan tegangan (V) dengan menggunakan struktur kapasitor *metal oxide semiconductor* (MOS) dengan kontak *Copper tape* yang dihubungkan dengan multimeter digital.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil pelarutan strontium titanat dengan variasi konsentrasi

Larutan strontium titanat (SrTiO_3) yang terbaik terlihat memiliki warna yang lebih kuning dibanding larutan yang lain. Perubahan warna ini disebabkan karena unsur-unsur pada larutan bereaksi lebih banyak dan didapatkan larutan yang terbaik adalah larutan nomor 4 karena pada larutan ini substrat terlapisi dengan baik. Kemudian hasil perendaman substrat kedalam larutan tersebut diperoleh waktu perendaman terbaik pada perendaman selama 8 jam, hal ini terjadi karena substrat lebih lama terendam sehingga larutan Strontium Titanat menempel dengan baik pada substrat tersebut.

4.2. Analisis Arus (I) dan Tegangan (V)

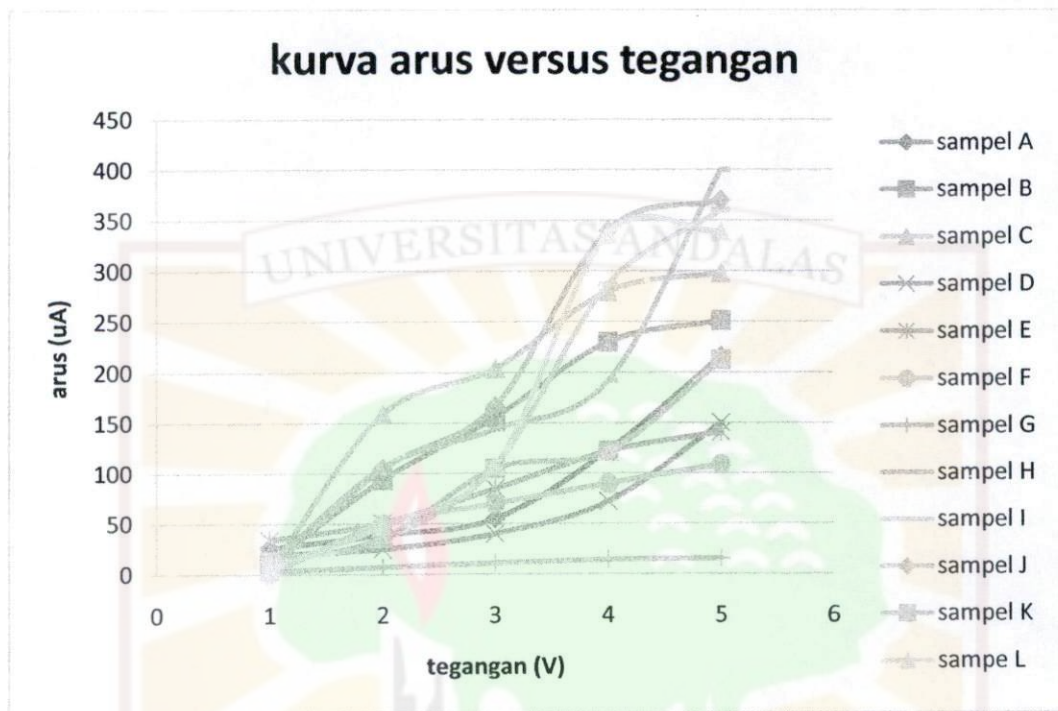
Pengukuran arus dan tegangan memberikan besar arus (I), rapat arus (J), resistansi (R) dan tegangan (V) yang digunakan. Pengukuran juga menghitung kapasitansi lapisan tipis dengan menggunakan struktur kapasitor MOS (*Metal Oxide Semiconductor*). Data-data pengukuran sampel dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. hasil pengukuran arus (I) dan tegangan (V).

N0	Sampel	Tegangan (V)	R awal (K Ω)	R akhir (K Ω)	Arus (mA)	Rapat arus (A.Cm ⁻²)	Kapasitansi (pF)
1	A	1	302,19	38,46	26	31,7	30,5
		2		51,28	39	47,56	31,1
		3		54,55	55	67,07	31,9
		4		32,52	123	150	36,9
		5		23,15	216	263,41	37,2
2	B	1	301	83,33	12	17,142	58
		2		21,28	94	134,28	57,6
		3		19,23	156	222,857	59,5
		4		17,39	230	328,57	63,8
		5		19,92	251	358,57	65,8
3	C	1	296,7	200	5	6,172	63
		2		12,578	159	196,296	67,5
		3		14,705	204	251,85	75,5
		4		14,285	280	345,679	76
		5		16,778	298	367,9	78
4	D	1	205,12	52,631	19	38	39,3
		2		80	25	50	41,1
		3		75	40	80	45,8
		4		53,33	72	144	43,3
		5		33,33	150	300	45,2
5	E	1	204	29,411	34	62,96	31,8
		2		39,215	51	94,44	36,65
		3		35,294	85	157,4	34,8
		4		47,058	122	225,92	36
		5		35,46	141	261,11	31,4
6	F	1	246	1000	1	2,08	43,6
		2		40	50	104,16	45,6
		3		42,857	70	145,83	42
		4		44,444	90	187,5	41
		5		45,872	109	227,08	40
7	G	1	276	3333	30	50	43
		2		28,57	70	116,66	49
		3		27,27	110	183,33	33
		4		28,55	140	233,33	50
		5		33,33	150	250	48
8	H	1	253	100	10	40	50
		2		18,86	106	424	50,5
		3		20,80	144	576	51
		4		20,83	192	768	52,6
		5		12,5	400	1600	56,5

No	Sampel	Tegangan (V)	R awal (K Ω)	R akhir (K Ω)	Arus (mA)	Rapat arus (A.Cm ⁻²)	Kapasitansi (pF)
9	I	1	224	71,42	14	25	47,7
		2		57,142	35	62,5	62,5
		3		27,717	108	192,857	68
		4		13,937	287	512,5	76
		5		13,888	360	642,85	65,8
10	J	1	216	166,66	6	13,636	54
		2		19,047	105	238,636	57
		3		17,964	167	379,545	58,1
		4		11,764	340	772,727	60,5
		5		13,513	370	840,909	62
11	K	1	128	76,923	13	37,14	43
		2		55,555	36	102,857	46
		3		28,571	105	300	49
		4		32,786	122	348,57	50
		5		23,584	212	605,7	54
12	L	1	224	166,666	6	10,714	38
		2		41,66	48	85,714	40
		3		27,777	108	192,857	40,7
		4		11,23	336	600	42
		5		14,749	339	605,357	45

Dari tabel dapat kita lihat nilai-nilai hasil pengukuran dengan menggunakan multimeter dan LCR meter dan hubungannya dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.1. Kurva perbandingan arus (I) dan tegangan (V).

Dari grafik arus dan tegangan dapat dilihat bahwa arus bertambah ketika tegangan dinaikkan, hal ini terjadi karena bahan yang digunakan adalah bahan semikonduktor yang bersifat konduktor ketika diberi pengaruh tegangan tertentu. Dan bersifat nonkonduktor ketika tidak diberi tegangan luar. Naiknya tegangan tidak linier dengan arus yang mengalir seperti pada bahan yang bersifat ohmik. Hal ini disebabkan karena lapisan Strontium Titanat merupakan oksida yang bersifat Dielektrik. Bahan dielektrik tidak langsung dipengaruhi oleh besarnya tegangan yang diberikan, akan tetapi bergantung pada besarnya medan listrik yang diakibatkan oleh kenaikan tegangan. Dengan kata lain tidak hanya tegangan yang mempengaruhi akan

tetapi resistivitas dan ketebalan bahan juga sangat mempengaruhi banyaknya arus yang mengalir.

Dari hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah pelapisan pada sampel A, berdasarkan persamaan (2.13) diperoleh ketebalan lapisan tipis sampel A sebesar 36,80 nm, kapasitansi akumulasi 167,66 pF dan luas substrat 0,82 cm². Dengan cara yang sama ketebalan, kapasitansi akumulasi dan rapat arus dari 11 sampel lainnya dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Kapasitansi akumulasi, ketebalan, volume oksida dan luas permukaan lapisan tipis.

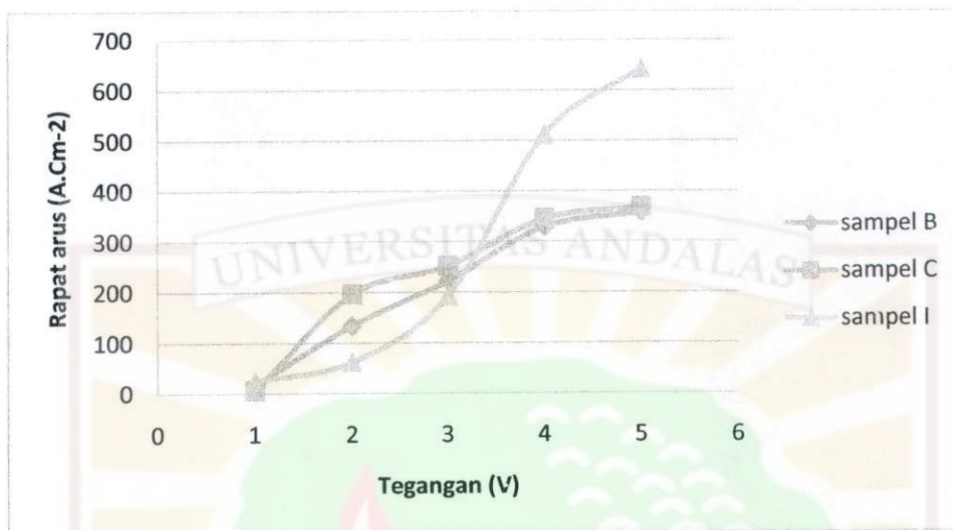
NO	Sampel	Kapasitansi akumulasi (pF)	Ketebalan (nm)	Volume oksida (E7 nm ³)	Luas substrat (cm ²)
1	B	304,7	33,34	23,338	0,7
2	C	360	15,98	12,943	0,81
3	D	214,7	23,06	11,53	0,5
4	E	170,5	32,872	17,75	0,54
5	F	212	0,229	0,109	0,48
6	G	223	48,5	29,1	0,6
7	H	260,6	24,9	6,225	0,25
8	I	320	25,89	14,498	0,56
9	J	291,6	47,33	20,825	0,44
10	K	242	21,26	7,441	0,35
11	L	205,7	16,69	9,346	0,56

Dari tabel 4.2 dapat dilihat pada sampel B dan J, kapasitansi suatu bahan sangat bergantung pada ketebalan dan luas permukaan bahan itu sendiri. Semakin besar luas permukaan lapisan oksida, maka kapasitansi makin besar. Sama dengan lapisan oksida, semakin tebal lapisan oksida maka kapasitansinya semakin besar pula. Hal ini dipengaruhi oleh pergeseran muatan akibat adanya medan magnet oleh tegangan yang diberikan. Akan tetapi kebergantungan kapasitansi terhadap ketebalan dan luas permukaan oksida tidak terjadi pada bahan lainnya kecuali sampel C. Hal ini dikarenakan oleh tidak semua permukaan substrat terdeposisi oleh larutan strontium titanat (SrTiO_3) sehingga deposisi terjadi tidak merata pada substrat.

Kapasitansi akumulasi terbesar adalah pada sampel C yaitu 360 pF, hal ini disebabkan karena sampel C telah mengalami perendaman selama 8 jam dan pemanasan pada suhu 220°C selama 2 jam. Walaupun ketebalannya tidak begitu besar akan tetapi lapisan tipis yang terbentuk sudah dalam fase kristal sehingga polarisasi mudah terjadi.

4.2.1. Rapat arus dan Tegangan

Rapat arus adalah banyaknya arus yang mengalir tiap satuan luas. Untuk lapisan oksida SrTiO_3 luas daerah yang dipakai adalah luas dari substrat yang digunakan. Grafik perbandingan rapat arus dan tegangan yang diberikan pada lapisan tipis dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Perbandingan rapat arus (J) dengan tegangan (V)

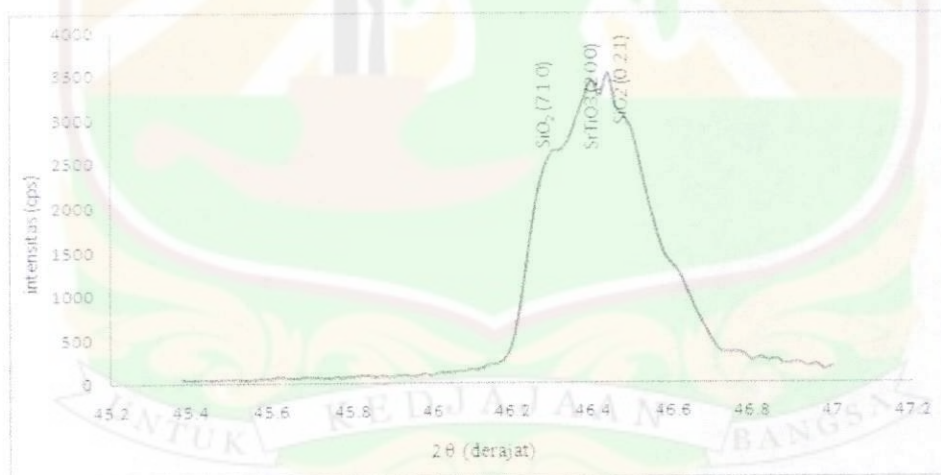
Kurva rapat arus dan muatan yang linier menunjukkan adanya konduktivitas ohmik, dimana bahan yang dibuat memiliki sifat-sifat dari sebuah material ohmik. Pada penelitian ini untuk membandingkan bahan yang memiliki konduktivitas ohmik diambil tiga sampel yang memiliki nilai kapasitansi akumulasi tertinggi yaitu sampel B, C dan I, dengan kapasitansi akumulasi berturut-turut adalah 304,07 pF, 360 pF dan 320 pF. Sampel B hampir memiliki sifat ohmik, terlihat dari grafik gambar 4.3 dimana grafiknya hampir linier. Hal ini diakibatkan karena sampel B mengalami perendaman sampel selama 8 jam, sehingga lapisan yang terbentuk lebih tebal. Sementara itu sampel C dan I merupakan bahan dielektrik yang ditunjukkan oleh tidak liniernya grafik dan setiap kenaikan tegangan mempengaruhi rapat arusnya. Tingginya kapasitansi pada sampel C merupakan efek dari luas permukaan. Semakin luas permukaan lapisan tipis suatu bahan maka kapasitansinya juga semakin besar.

4.3. Analisis Hasil X-RD (Difraksi sinar X)

Karakterisasi difraksi sinar X , dilakukan terhadap dua sampel terbaik yaitu sampel A dan C yang divariasikan waktu pembakaran pada suhu 220 °C, selama 1 dan 2 jam. Karakterisasi ini memperlihatkan kekristalan suatu bahan pada setiap sudut 2 θ yang berbeda. Intensitas yang besar menunjukkan bahwa kristal tersebut memiliki keteraturan kristal yang baik atau semakin banyak atom-atom yang tersusun rapi.

4.3.1. Analisis Sampel A

Data hasil X-RD sampel A. Karakteristik XRD sampel ini dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik hasil XRD sampel A.

Data lain yang dapat dilihat dari hasil XRD ini dapat dilihat dari tabel 4.3.

Tabel 4.3. hasil XRD sampel A

2-Theta	d(A)	Intensitas	FWHM
45.946	1.9736	66	1.022
46.433	1.954	3374	0.322
46.955	1.9335	168	0.92

Pada karakterisasi sampel A diperoleh 3 puncak difraksi sinar X yaitu puncak-puncak pada sudut 2 Theta sebesar 45,964 dengan FWHM 1,022 sehingga dapat dihitung ukuran kristalnya dengan persamaan (2.9) sebagai berikut

$$B = \frac{1}{2} FWHM$$

$$B = \frac{1}{2} 1,022 = 0,511 \times \frac{3,14}{180} = 8,9 \times 10^{-3} rad$$

$$D = \frac{0,9 \lambda}{B \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5405 \text{ \AA}}{8,9 \times 10^{-3} rad \cdot \cos 22,97}$$

$$D = 169,19 \text{ \AA} = 16,919 \text{ nm}$$

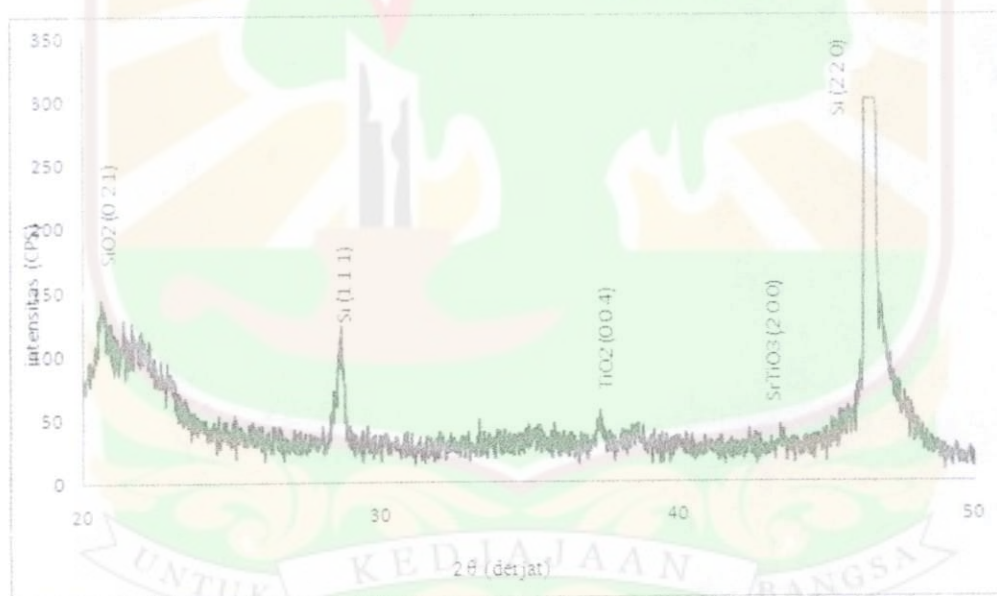
Dari hasil analisa menggunakan data JCPDS maka pada sudut 2 Theta tersebut diidentifikasi adanya kristal silikon dioksida (SiO_2) dengan orientasi indeks Miller (7 1 0), sedangkan jarak antar bidangnya adalah $1,9736 \text{ \AA}$.

Difraksi pada sudut puncak 46,433 dan 46,955 diketahui FWHMnya adalah 0,322 dan 0,92 sehingga ukuran kristal dapat ditentukan seperti cara diatas dan didapatkan ukuran kristalnya berturut-turut 53,767 nm dan 18,821 nm. Dari hasil

identifikasi JCPDS maka untuk sudut 46,433 adalah puncak untuk strontium titanat dengan indeks miller (2 0 0). Sedangkan untuk sudut 46,955 adalah sudut untuk puncak Silikon Dioksida dengan indeks miller (0 2 1), sudut ini adalah puncak intensitas tertinggi, hal ini disebabkan oleh pemakaian substrat silikon yang berbentuk wafer kristal.

4.3.2. Analisis Sampel C

Hasil XRD untuk sampel C dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.4. Grafik hasil XRD sampel C

Data-data hasil XRD dari sampel C dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Tabel hasil XRD sampel C

2-Theta	d(A)	intensitas	FWHM
20.667	4.2942	68	1.053
28.62	3.1164	86	0.478
37.38	2.4037	22	0.403
46.061	1.9689	29	1.259
46.51	1.9509	1203	0.323
47.011	1.9313	83	1.177

Hasil analisis XRD pada sampel C lebih banyak memiliki puncak-puncak Kristal dibandingkan dengan sampel A. Hal ini disebabkan karena pada sampel C dilakukan pembakaran pada suhu 220 °C selama 2 jam. Lamanya waktu pembakaran ini menyebabkan meningkatnya derajat kristalinitas, dibandingkan dengan sampel A yang dibakar pada suhu 220°C selama 1 jam saja.

Karakterisasi dengan XRD pada sampel C diperoleh 6 puncak kristal yaitu pada sudut 20,667, 28,62, 37,38, 46,061, 46,51 dan 47,011. Pada tabel dapat dilihat FWHMnya berturut-turut sebesar 1,053, 0,478, 0,403, 1,259, 0,323 dan 1,177. Dari hasil tersebut diidentifikasi dengan JCPDS maka untuk tiap puncak dapat diketahui unsur kristalnya yaitu berturut-turut Silikon Dioksida (021), Silikon (111), Titanium Dioksida (004), Strontium Titanat (200), Strontium Titanat (200) dan Silikon (220).

Besarnya ukuran Kristal pada sampel C dapat dihitung dengan persamaan seperti pada sampel A. Didapatkan untuk Silikon Dioksida (021) ukuran kristalnya sebesar 15,35 nm, Silikon (111) sebesar 34,009 nm, Titanium Dioksida (004) sebesar 41,616 nm, Strontium Titanat (200) sebesar 13,740 nm, Strontium Titanat (200) sebesar 53,548 nm dan Silikon (220) sebesar 14,732 nm.

4.3.3. Konstanta Dielektrik

Penghitungan konstanta dielektrik strontium titanat (SrTiO_3) dilakukan pada sampel A dan C yang telah diketahui ukuran kristalnya yaitu 53,767 nm dan 13,740 nm. karakterisasi X-RD juga memberikan konstanta $\alpha = 3,905$ dan $l=1$. Dari persamaan (2.6) diketahui konstanta dielektrik untuk sampel A sebesar 218,418 dengan jari-jari partikelnya sebesar 26,883 nm. Sedangkan untuk sampel C konstanta dielektriknya 159,759 dengan jari-jari partikel 6,87 nm. Besarnya konstanta dielektrik ini disebabkan oleh semakin besarnya ukuran partikel strontium titanat pada sampel A. Ukuran partikel yang besar menyebabkan jarak antara dipol-dipol semakin besar pula sehingga menyebabkan elektron lebih mudah bergerak dan sebaliknya semakin kecil ukuran partikel menyebabkan jarak antar dipol-dipol semakin kecil pula sehingga mobilitas elektron berkurang. Sementara itu penghitungan konstanta dielektrik yang dihitung dari hasil karakterisasi arus (I) dan tegangan (V) dengan menggunakan persamaan 2.5 dapat dilihat pada tabel 4.5.

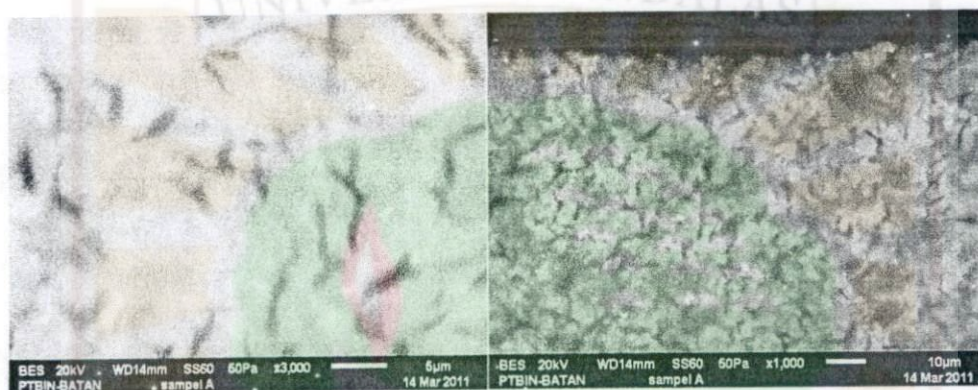
Tabel 4.5. konstanta dielektrik dari karakterisasi arus (I) dan tegangan (V)

No	Sampel	Konstanta dielektrik ($\times 10^{-2}$)	No	Sampel	Konstanta dielektrik ($\times 10^{-2}$)
1	A	0,845	7	G	2,05
2	B	1,934	8	H	2,874
3	C	0,809	9	I	1,671
4	D	1,158	10	J	3,5436
5	E	1,173	11	K	1,66
6	F	1,14	12	L	0,690

Dari tabel 4.5 dapat dilihat konstanta dielektrik yang dihitung dengan menggunakan persamaan penghitungan konstanta dielektrik dalam bentuk bulk, nilai dielektriknya kecil sekali yaitu kurang dari 1. Nilai konstanta dielektrik dalam ruang vakum bernilai 1. Oleh sebab itu konstanta dielektrik yang bernilai kecil dari 1 adalah suatu yang tidak mungkin terjadi pada bahan, sehingga dapat kita simpulkan bahwa penghitungan konstanta dielektrik pada bahan yang berorde nanometer tidak bisa dihitung dengan menggunakan persamaan penghitungan konstanta dielektrik bahan bulk. Dan bisa ditentukan dengan menggunakan rumus penghitungan konstanta dielektrik nanopartikel.

4.4. Analisis hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Karakterisasi pencitraan permukaan lapisan tipis pada sampel A yang dibakar pada suhu 220°C selama 1 jam ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



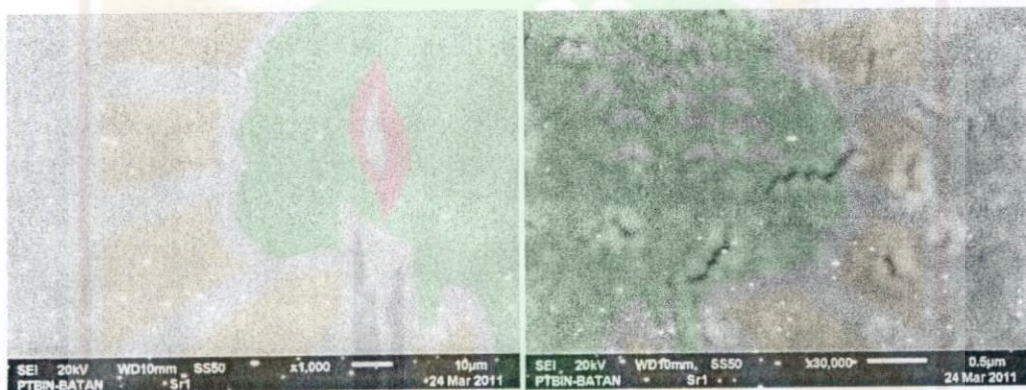
Gambar 4.5. Struktur morfologi permukaan lapisan tipis SrTiO_3 sampel A

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa permukaan lapisan tipis terdeposisi tidak merata, hal ini menunjukkan bahwa pada saat perendaman pelapisannya tidak berlangsung secara sempurna walaupun secara makroskopis terlihat menempel dengan baik. Ketidaksempurnaan pendeposisian ini diakibatkan oleh adanya gaya gerak dari jarum jam yang dipakai pada saat perendaman. Gerakan ini sangat berpengaruh besar pada substrat yang direndam. Apalagi Strontium Titanat yang digunakan dalam bentuk larutan bening, bukan koloid. Pada saat pencitraan dengan perbesaran 1000 kali terlihat lapisan Strontium yang mengikuti alur dari permukaan substrat Silikon dan adanya unsur Titanium Dioksida yang masih terlihat dalam bentuk butiran menunjukkan bahwa tidak semua bahan tersebut bereaksi membentuk

Strontium Titanat. Perbesaran 3000 kali tidak memperlihatkan bentuk partikel lapisan tipis dengan jelas. Hal ini disebabkan karena lapisan tipis yang terbentuk adalah lapisan tipis berorde nanometer.

4.4.1. Morfologi Sampel B

Morfologi permukaan sampel B dapat dilihat pada gambar 4.6.

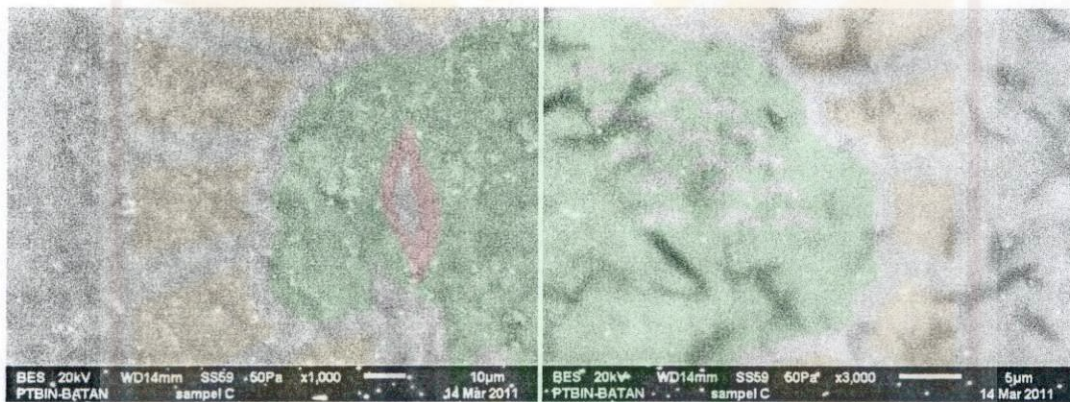


Gambar 4.6. Struktur morfologi permukaan lapisan tipis SrTiO_3 sampel B.

Pada sampel B terlihat pada perbesaran 1000 kali lapisan terd deposisi secara acak dan mengelompok. Hal ini terjadi karena sewaktu perendaman, sampel terganggu oleh getaran dari jam yang digunakan sebagai parameter waktu perendaman. Dan juga adanya partikel air yang menguap dari gelas reaksi menyebabkan tercampurnya lapisan oksida ini dengan uap air pada gelas reaksi. Setelah dilakukan perbesaran 30.000 kali terlihat lapisan Strontium Titanat yang terd deposisi membentuk patahan-patahan. Hal ini terjadi karena pada saat pembakaran pada suhu 220°C selama 1,5 jam tersebut etilen glycol yang berfungsi sebagai perekat substrat dengan larutan strontium sudah menipis karena menguap lebih cepat

akibat bereaksi dengan uap air yang menempel pada substrat tersebut. Akan tetapi perbesaran 30.000 kali pun tidak bisa memperlihatkan bentuk dari partikel yang terdepositasi.

4.4.2. Morfologi Sampel C



Gambar 4.7. Struktur morfologi permukaan lapisan tipis SrTiO_3 sampel C.

Struktur morfologi permukaan pada substrat C terdepositasi cukup merata. Hal ini dapat terlihat pada perbesaran 1000 kali. Ukuran butiran partikel dapat diperkirakan dengan menggunakan skala micrometer yang diberikan. Sementara pada perbesaran 3000 kali tidak terlihat lagi bentuk-bentuk partikel dan lapisan tipis ini mengikuti alur dari permukaan substrat silikon. Bentuk permukaan sampel C yang lebih baik dari sampel A dan B diperkirakan terjadi karena pada saat perendaman. Getaran jarum jam hanya sedikit mempengaruhi tidak menempelnya lapisan dan ditambah dengan pembakaran pada suhu 220°C selama 2 jam menyebabkan material pengotor terdekomposisi sehingga lapisan dalam keadaan bersih dari pengotor.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kristalisasi lapisan tipis strontium titanat (SrTiO_3) lebih banyak terbentuk pada pembakaran 220°C selama 2 jam.
2. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan lapisan Kristal Silikon Dioksida dengan bidang hkl (021), Silikon (111), Titanium Dioksida (004), Strontium Titanat (200), Strontium Titanat (200) dan Silikon (220).
3. Konstanta dielektrik pada lapisan tipis ini cukup besar pada sampel A yang direndam dengan larutan 4 selama 8 jam dan dipanaskan dengan suhu 220°C selama 1 jam dan sampel C yang direndam pada larutan 4 selama 8 jam dan dipanaskan selama 2 jam pada suhu 220°C yaitu 218,418 dan 159,759 sehingga lapisan tipis ini cocok digunakan untuk bahan dielektrik untuk kapasitor *Metal Oxide Semiconductor* (MOS)
4. Distribusi partikel pada lapisan tipis homogen pada sampel A dan C dengan perendaman selama 8 jam.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian ini penulis mengemukakan beberapa saran:

1. Untuk penelitian selanjutnya, pelarutan TiO_2 hendaknya dilakukan dengan memakai basa kuat Natrium Oksida (NaOH), dan dipanaskan pada suhu lebih dari 800°C .
2. Alat perendam dan pengatur waktu hendaknya diatur agar tidak menimbulkan gaya gerak yang berpengaruh pada penempelan lapisan tipis di atas substrat.
3. Pada saat pengeringan substrat hendaknya dilakukan dengan penyemprotan gas Nitrogen agar substrat yang telah direndam kering dan bersih sempurna.
4. Karakterisasi dengan menggunakan SEM (Scanning Elektron Mikroskopi) hendaknya dilakukan pada perbesaran sampel lebih dari 60.000 kali, hal ini dikarenakan lapisan tipis yang terbentuk dalam orde nanometer.

DAFTAR PUSTAKA

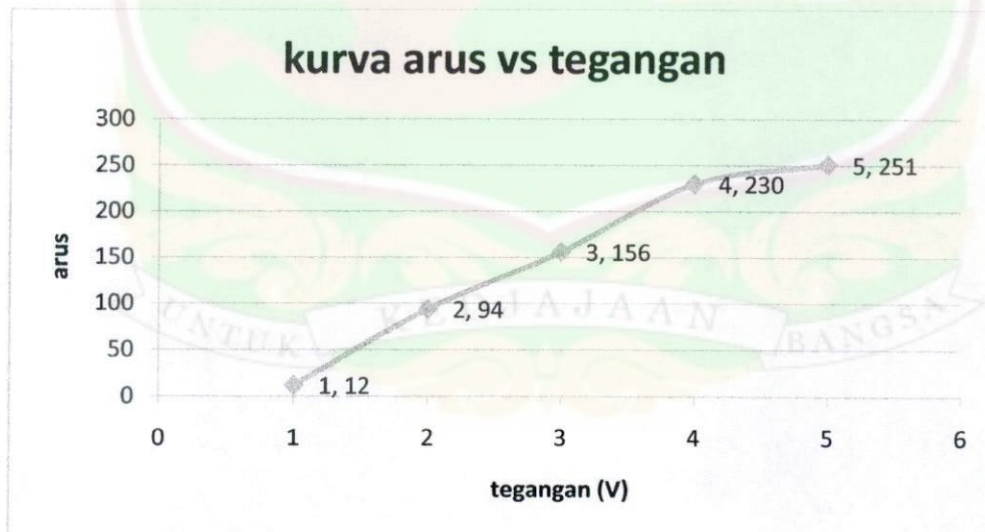
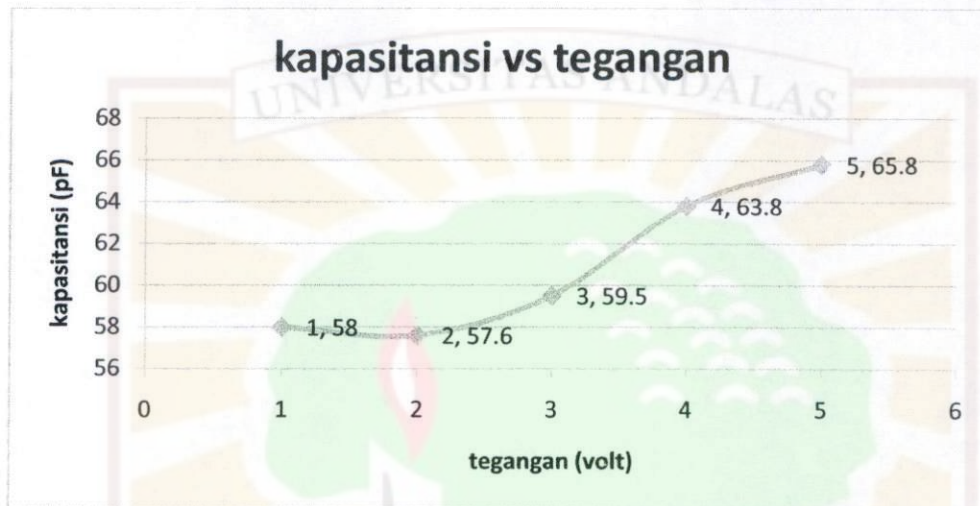
- Abdulah, Mikrajuddin. 2009. Pengantar Nanosains. ITB.Bandung.
- Akhiruddin. M, Hasiholan T.R, dan Mersi K. 2009. Penumbuhan Film Nanokristal SnO_2 dengan Metode Chemical Bath Deposition (CBD). Jurnal Nanosains & Nanoteknologi. Edisi Khusus, Agustus 2009.
- Asmuni. 2000. Karakterisasi Pasir Kuarsa (SiO_2) dengan metode X-RD. FMIPA USU. Medan.
- Brinker, Jeffrey dan Goerge W. Scherer. 1990. California : Academic Press.
- Chia Hao Chang and Yun Hwei Shen. 2006. Synthesis and characterization of chromium doped SrTiO_3 photocatalyst. Science Direct Material Letter. 2006. vol 60, 129-132.
- Darsikin, Khairurrijal, Sukirno dan M Barmawi. 2005. Sifat Listrik Lapisan tipis SrTiO_3 untuk kapasitor MOS. Jurnal Matematika dan Sains. 2005. Vol 10 no 3, hal 87-91.
- Gutowski Casey. 2008. Silikon Based solar cellsare the foundation of a variety of fotofvoltaik technologies and applications. Photonic Spectra. 2008 Vol 2, issue 6, 70-76.

- Hannes Guhl, Wolfram Miller and Karsten Reuter. 2009. Oxygen adatoms at SrTiO_3 (001): A density functional theory study. *Surface Science*. 2009. 604, 372-376.
- Hans Ulrich Krebs. 2010. *Polymer Thin Film. Vorlesung Lecture.* Jerman.
- Heri Sutanto. 2001. Pengaruh Variasi Temperatur Penumbuhan Terhadap Karakteristik Sifat listrik Lapisan tipis GaN diatas Si (111) dengan metoda PA-MOVCD. *Jurnal Berkala Fisika*. 2001. Vol 4 no 2, hal 40-44.
- Isaacs, Alan. 1994. *A Concise Dictionary Of Physics*. London : Oxford University Press.
- J.H. Haeni, P. Irvan, W.Chang, et all. 2004. Room-temperature ferroelectricity in strained SrTiO_3 . *Letter To Nature*, 2004. Vol 430.
- Kwok Ng. 1997. *Complete Guide To Semiconductor Devices*. New Jersey : McGraw-Hill Inc.
- K Van Benthem and Elsasser. 2001. *Bulk Electronic Structure of SrTiO_2 : Eksperiment and Theory*. *Journal of Applied Physics*. 2001. Vol 90, no. 12.
- Nikolais Luigi dan Carotenuto G. 2005. *Metal-Polimer Nanocomposite*. New Jersey. John Willey and Soon Inc.
- Norton.D.P, Theodoropoulou. N.A, dkk. 2003. *Propertis of Mn-Implanted BaTiO_3 , SrTiO_3 and KTaO_3* . *Electrochemical and Solid State Letter*. 2003. 6 (2) G19-G21.

- Rio, S. Reka dan Masamori Iida. 1999. *Fiska Dan Teknologi Semikonduktor*. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Rusdiana Dadi. 2006. Pengaruh Temperatur Deposisi Penyangga Aluminium Nitrida terhadap Struktur Kristal dan Morfologi Lapisan tipis GaN dengan Metoda DC Unbalanced Magnetron Sputtering. *Jurnal Matematika dan Sain*. 2006. vol 11. No 1.
- Sands, Donald E. 1975. *Introduction To Crystallograph*. W. A. Benjamin Inc. New Jersey.
- Vlack, Lawrence H Van. 1981. *Element Of materials Science and Engineering*. Addison-Wesley Publishing Company. Massachuset.

LAMPIRAN 1. Penghitungan tebal oksida, kurva arus dan kapasitansi terhadap tegangan

1. Sampel B

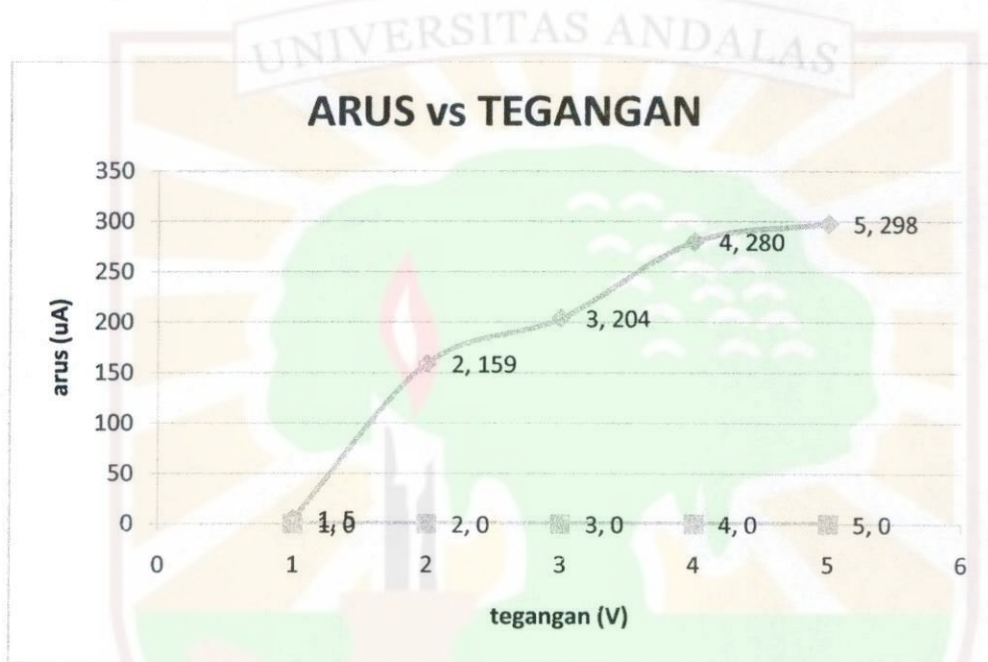


Dari hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah pelapisan berdasarkan rumus

$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{\rho M}{R_f} - \frac{\rho M}{R_i} = \rho M \left[\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i} \right] = \rho M \left[\frac{R_i - R_f}{R_i R_f} \right] \text{ didapatkan ketebalan film}$$

tipis sebesar 39,34 nm

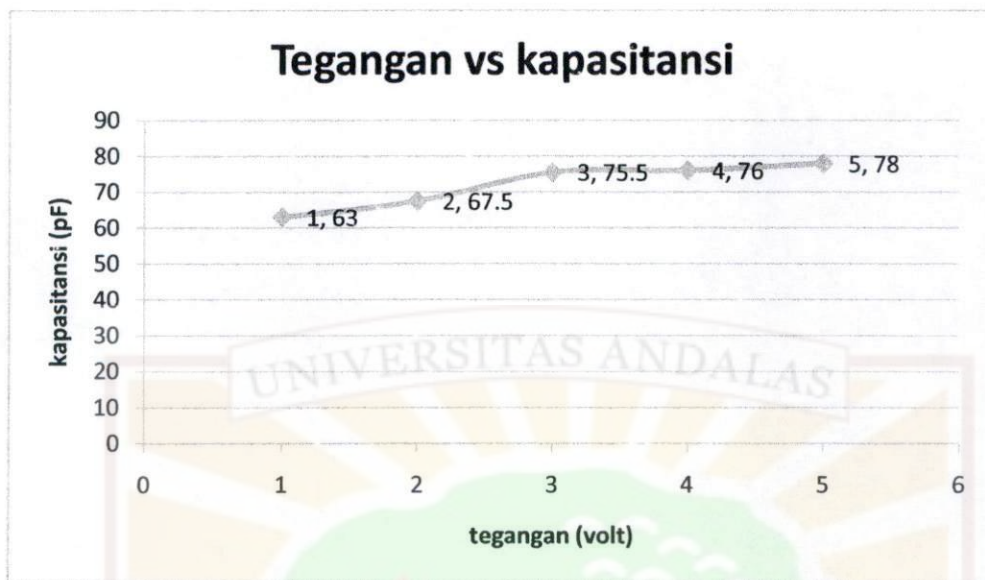
2. Sampel C



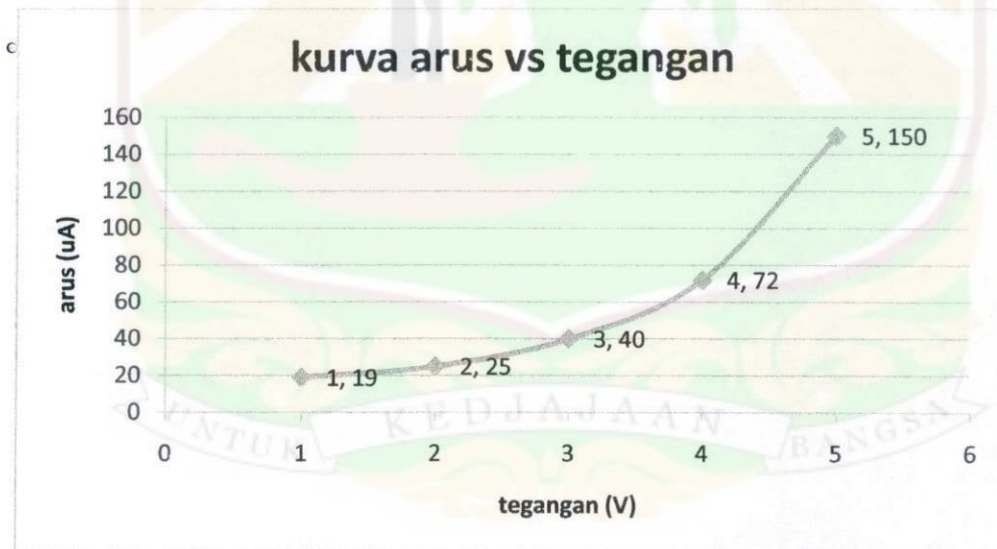
Dari hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah pelapisan berdasarkan rumus

$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{\rho M}{R_f} - \frac{\rho M}{R_i} = \rho M \left[\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i} \right] = \rho M \left[\frac{R_i - R_f}{R_i R_f} \right] \text{ didapatkan ketebalan film}$$

tipis sebesar 15,98 nm



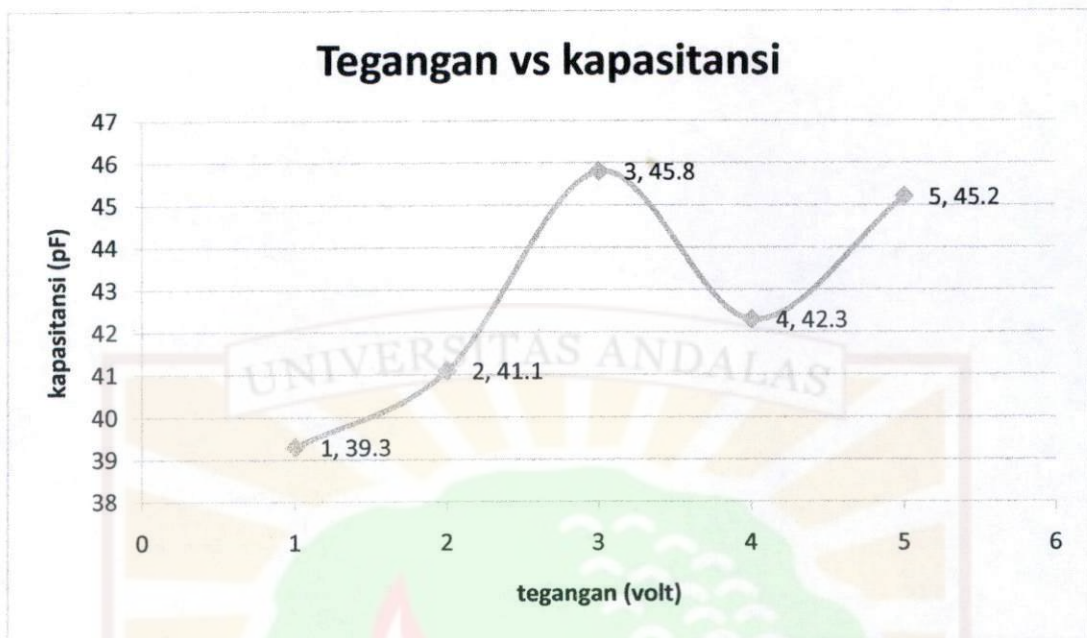
3. Sampel D



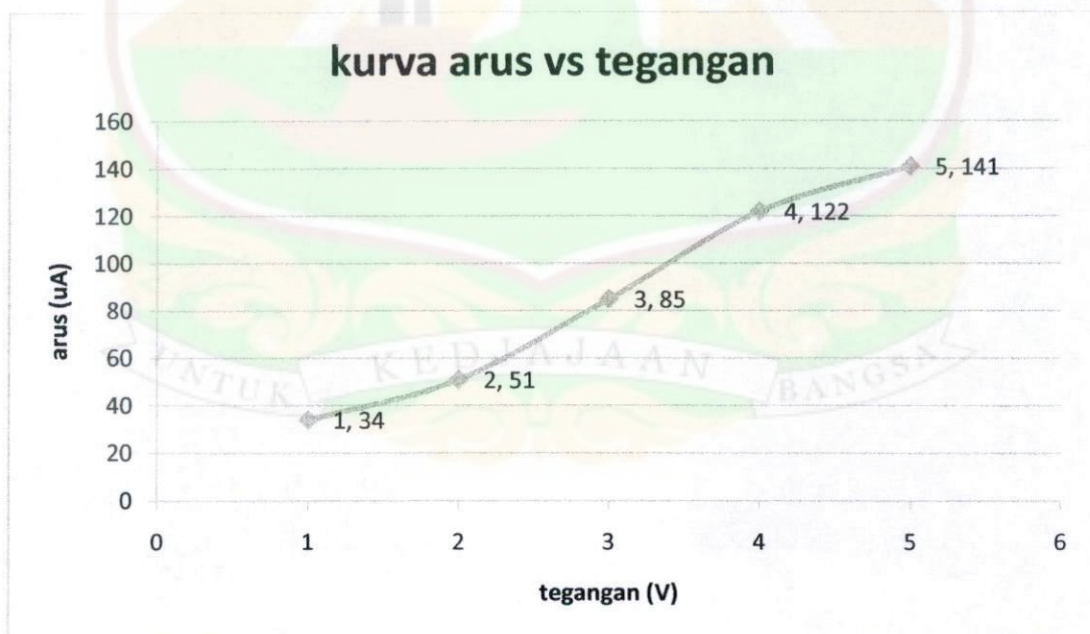
Dari hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah pelapisan berdasarkan rumus

$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{\rho M}{R_f} - \frac{\rho M}{R_i} = \rho M \left[\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i} \right] = \rho M \left[\frac{R_i - R_f}{R_i R_f} \right] \text{ didapatkan ketebalan film}$$

tipis sebesar 23,06 nm



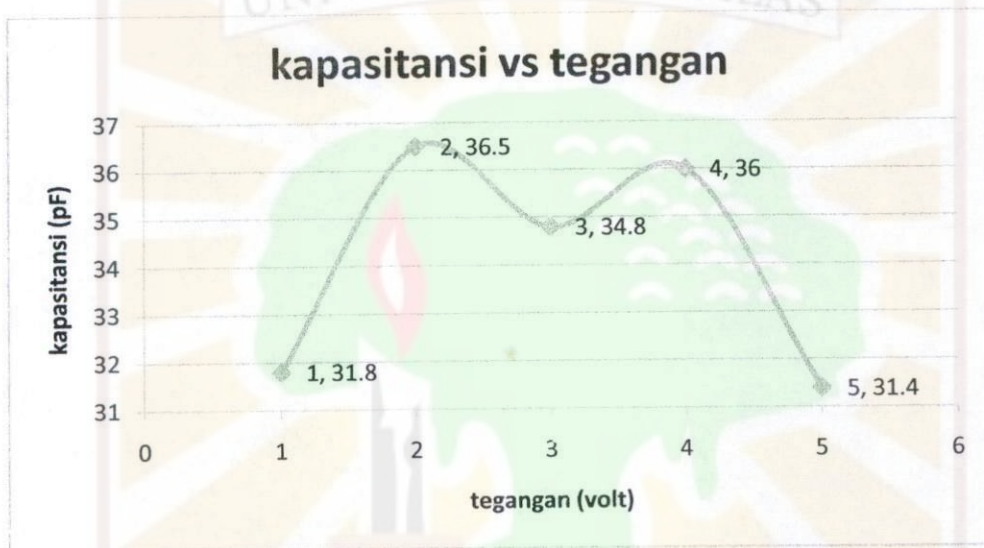
4. Sampel E



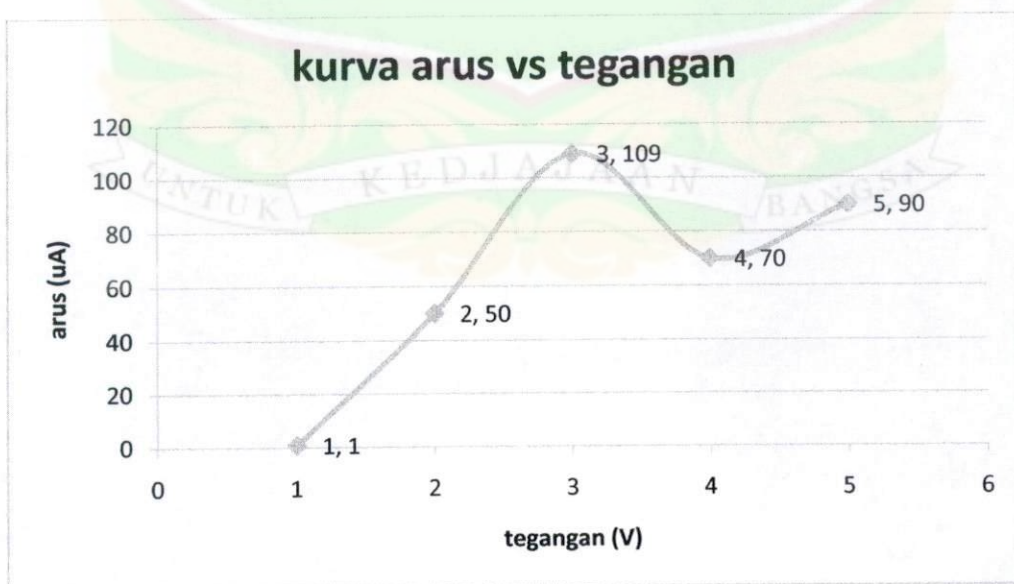
Dari hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah pelapisan berdasarkan rumus

$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{\rho M}{R_f} - \frac{\rho M}{R_i} = \rho M \left[\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i} \right] = \rho M \left[\frac{R_i - R_f}{R_i R_f} \right] \text{ didapatkan ketebalan film}$$

tipis sebesar 32,872 nm



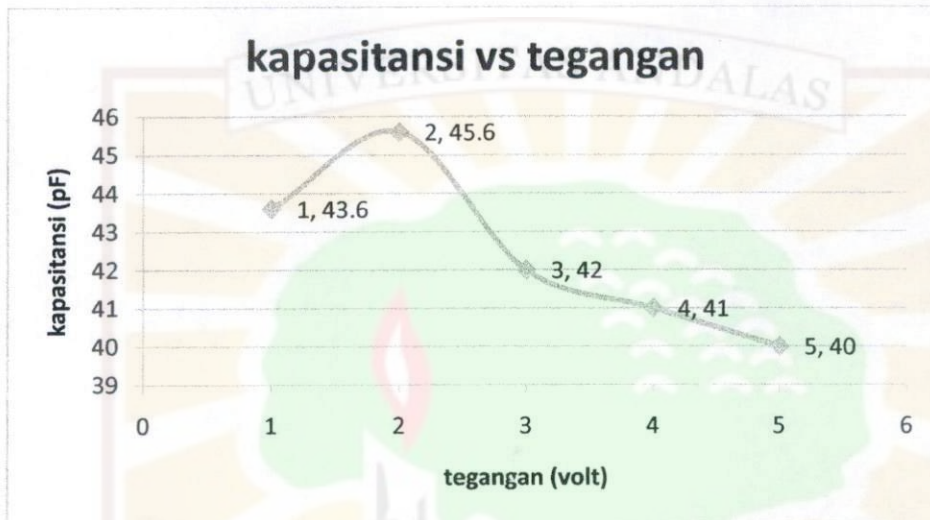
5. Sampel F



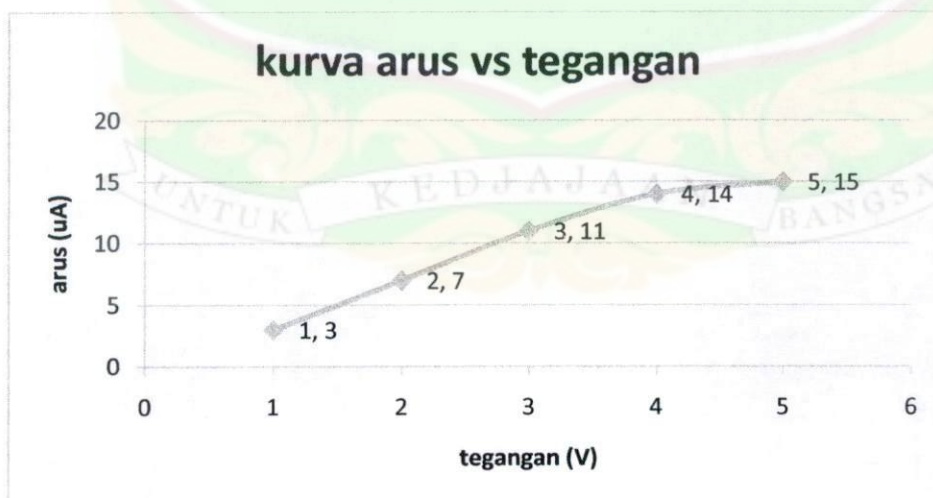
Dari hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah pelapisan berdasarkan rumus

$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{\rho M}{R_f} - \frac{\rho M}{R_i} = \rho M \left[\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i} \right] = \rho M \left[\frac{R_i - R_f}{R_i R_f} \right] \text{ didapatkan ketebalan film}$$

tipis sebesar 0,229 nm



6. Sampel G

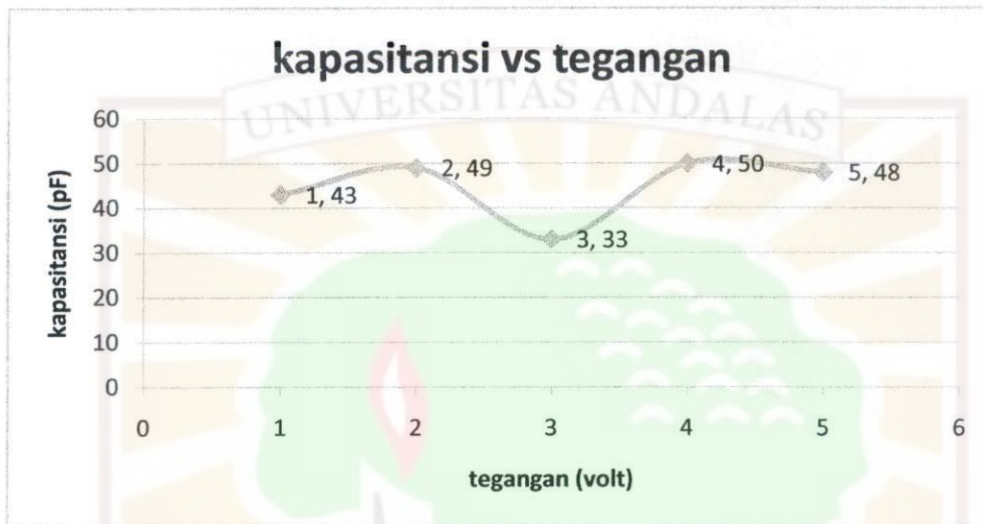


Dari hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah pelapisan berdasarkan rumus

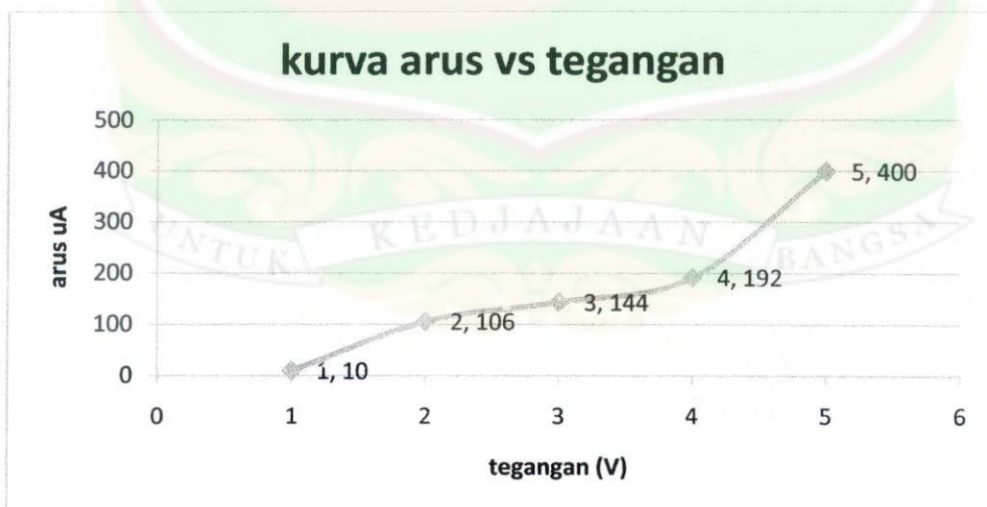
$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{\rho M}{R_f} - \frac{\rho M}{R_i} = \rho M \left[\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i} \right] = \rho M \left[\frac{R_i - R_f}{R_i R_f} \right]$$

didapatkan ketebalan film

tipis sebesar 48,5 nm



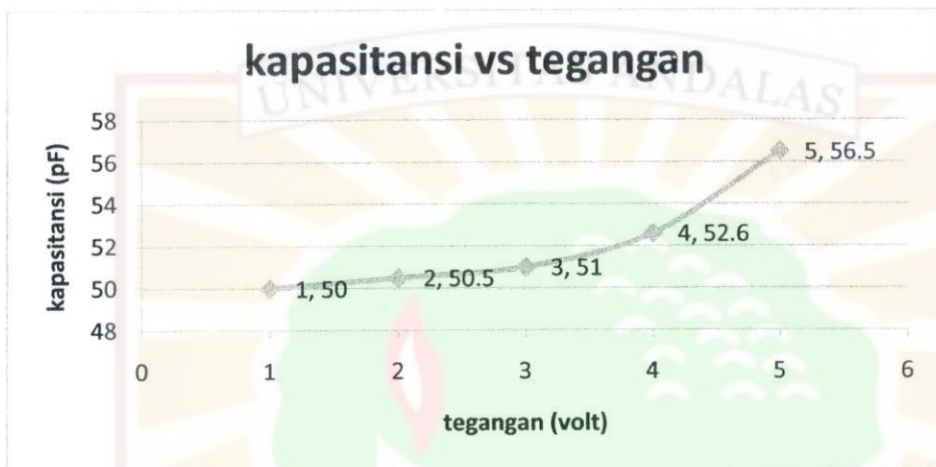
7. Sampel H



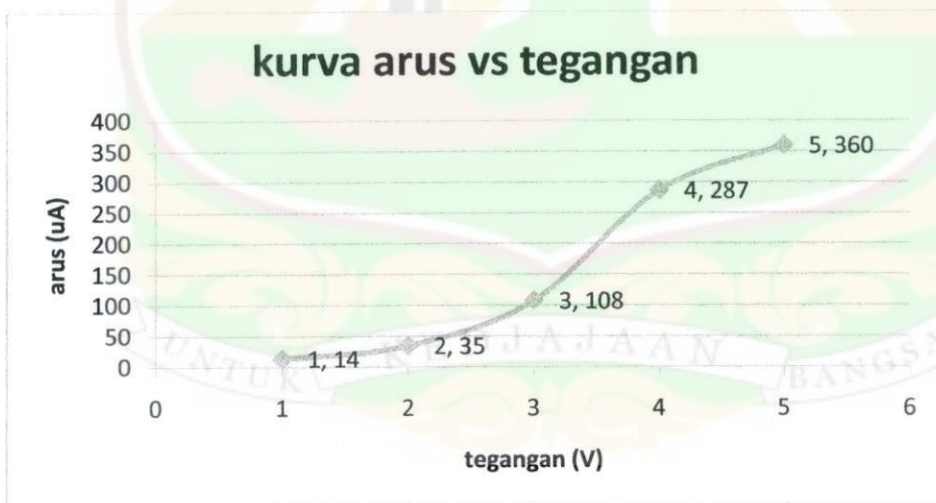
Dari hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah pelapisan berdasarkan rumus

$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{\rho M}{R_f} - \frac{\rho M}{R_i} = \rho M \left[\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i} \right] = \rho M \left[\frac{R_i - R_f}{R_i R_f} \right]$$

tipis sebesar 24,9 nm



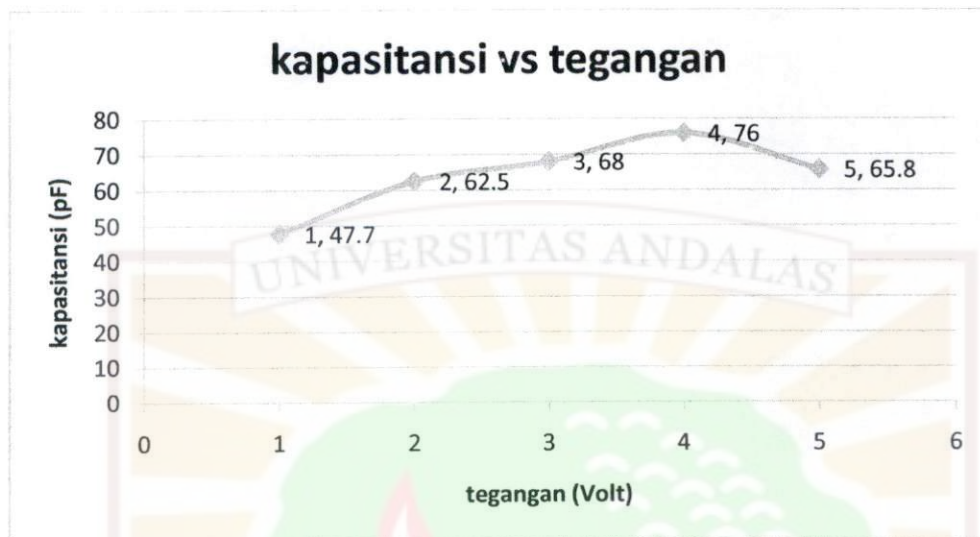
8. Sampel



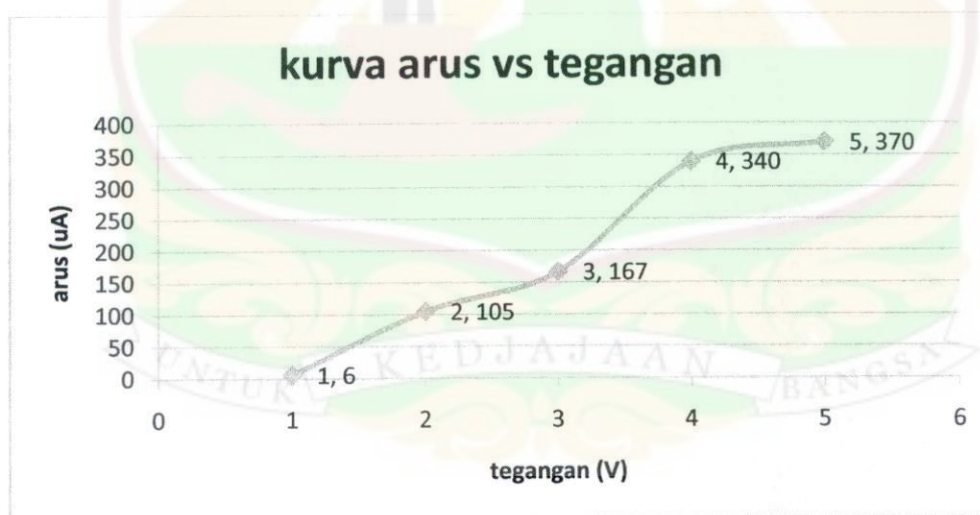
Dari hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah pelapisan berdasarkan rumus

$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{\rho M}{R_f} - \frac{\rho M}{R_i} = \rho M \left[\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i} \right] = \rho M \left[\frac{R_i - R_f}{R_i R_f} \right]$$

tipis sebesar 25,8 nm



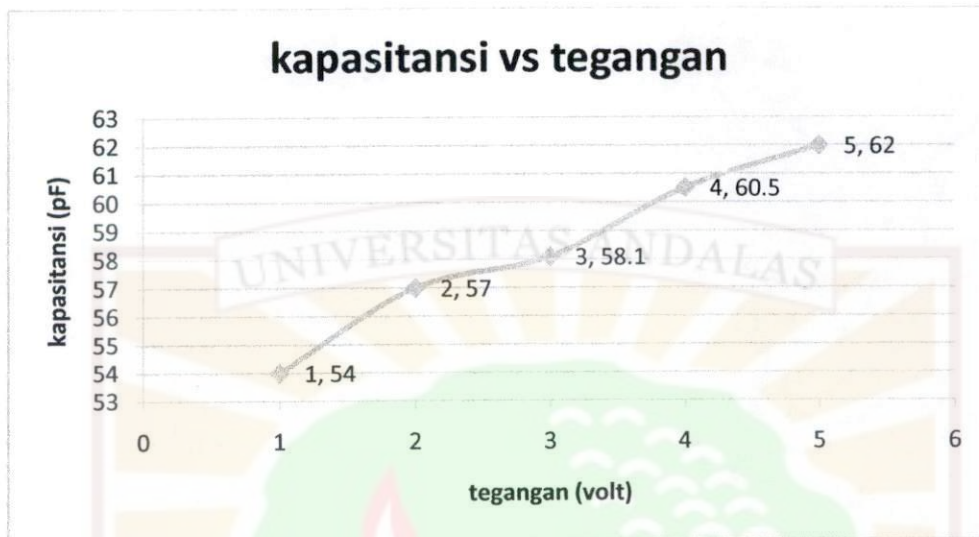
9. Sampel J



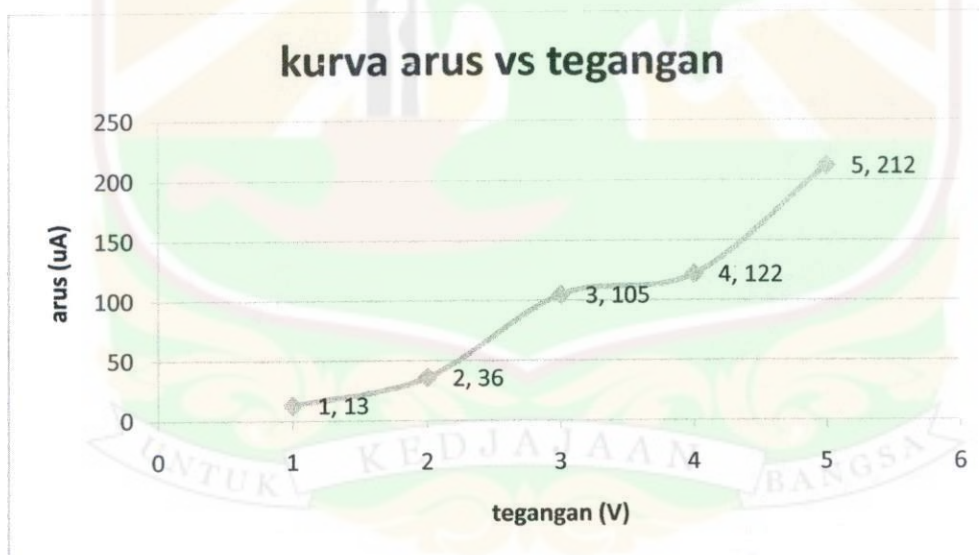
Dari hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah pelapisan berdasarkan rumus

$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{\rho M}{R_f} - \frac{\rho M}{R_i} = \rho M \left[\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i} \right] = \rho M \left[\frac{R_i - R_f}{R_i R_f} \right] \text{ didapatkan ketebalan film}$$

tipis sebesar 47,33 nm



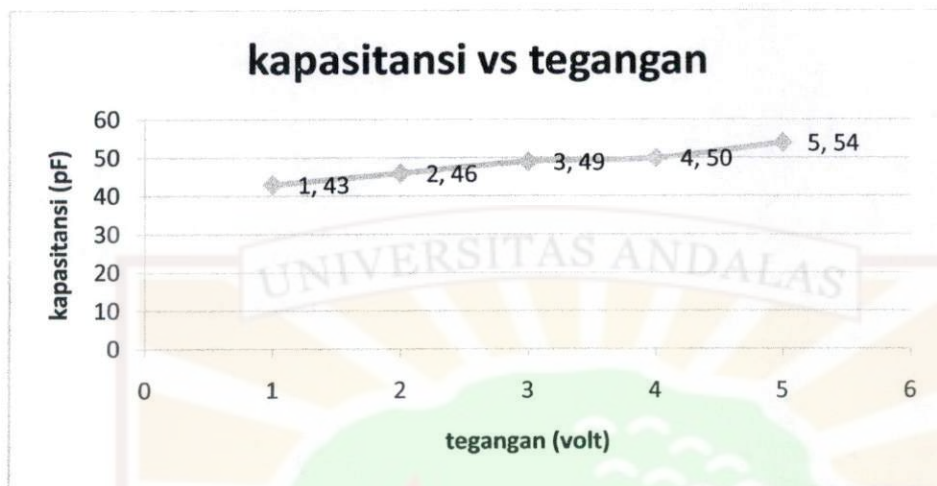
10. Sampel K



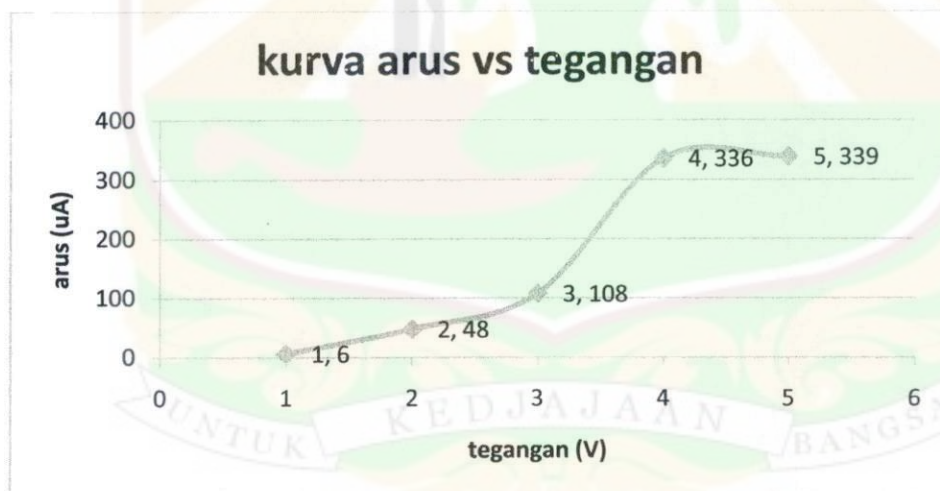
Dari hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah pelapisan berdasarkan rumus

$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{\rho M}{R_f} - \frac{\rho M}{R_i} = \rho M \left[\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i} \right] = \rho M \left[\frac{R_i - R_f}{R_i R_f} \right] \text{ didapatkan ketebalan film}$$

tipis sebesar 21,26 nm



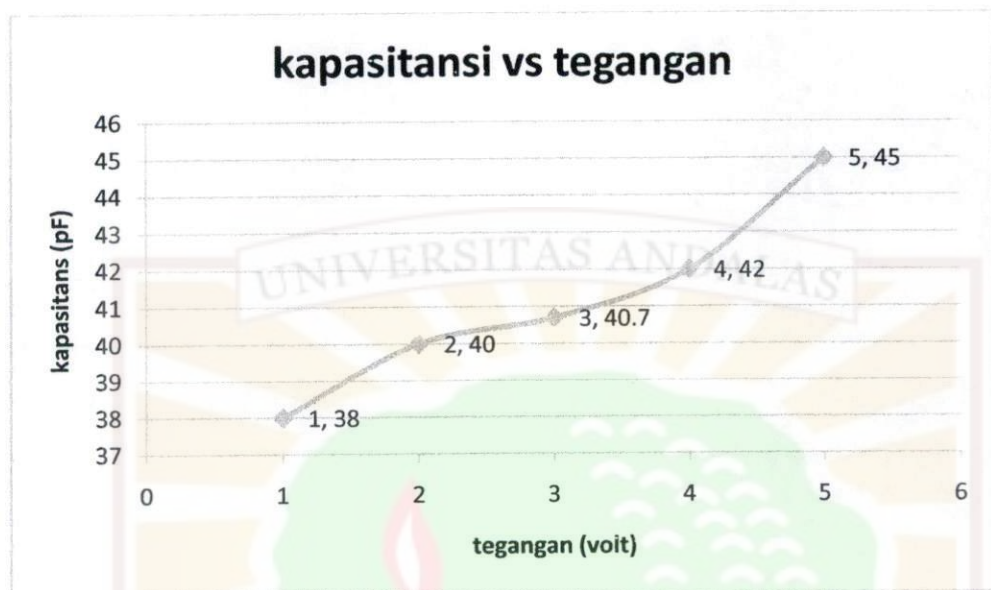
11. Sampel L



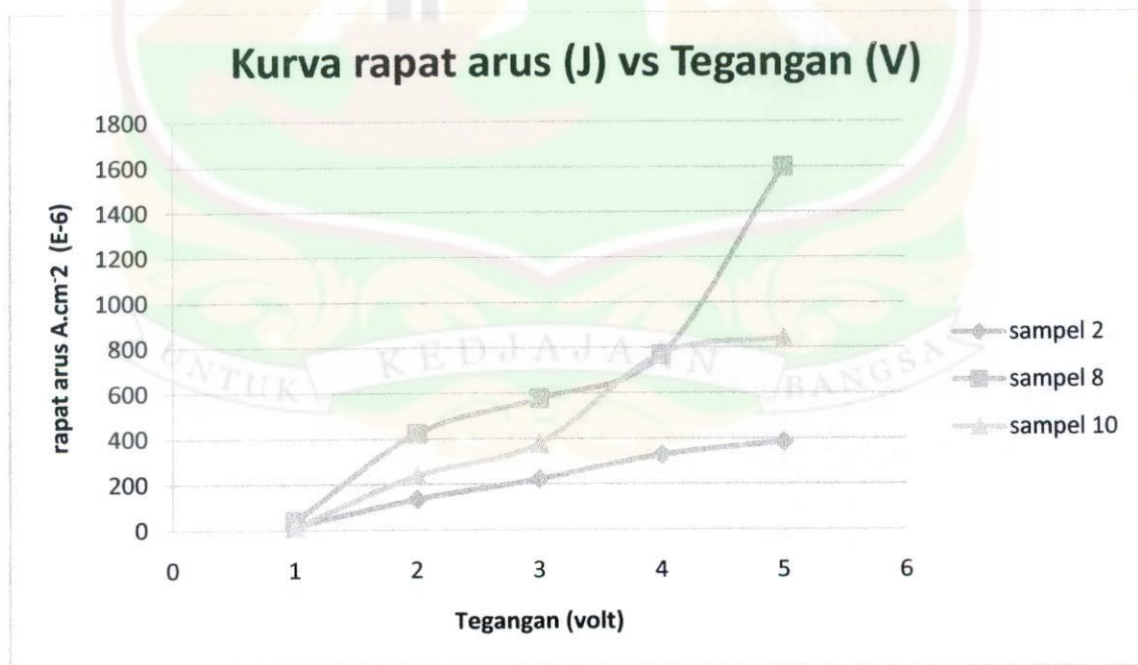
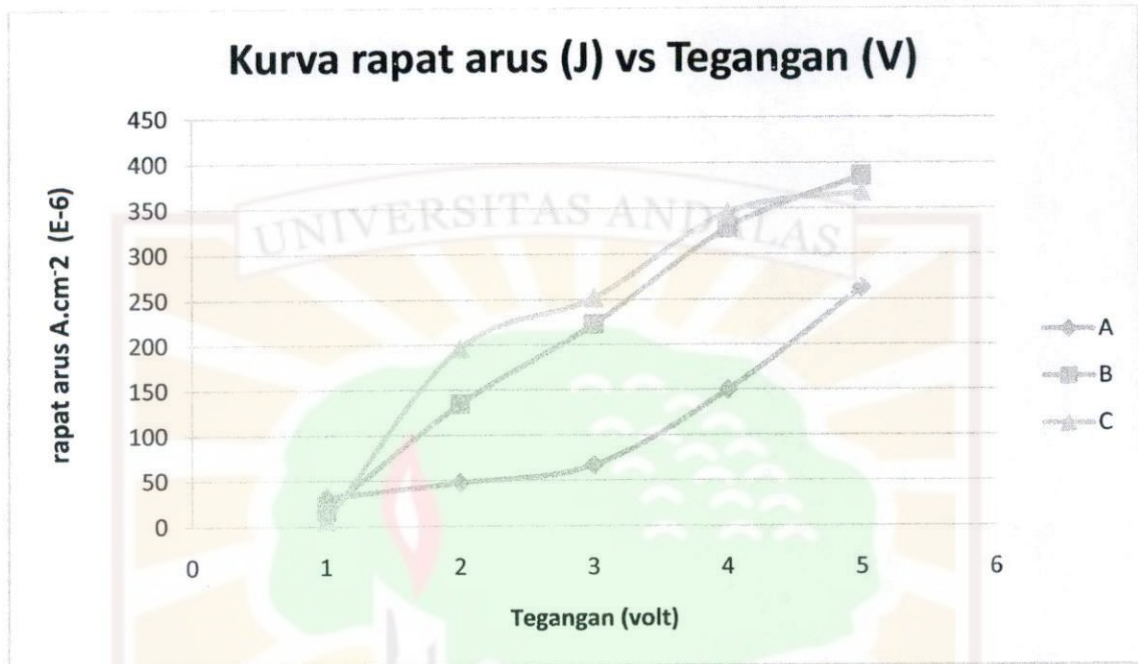
Dari hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah pelapisan berdasarkan rumus

$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{\rho M}{R_f} - \frac{\rho M}{R_i} = \rho M \left[\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i} \right] = \rho M \left[\frac{R_i - R_f}{R_i R_f} \right] \text{ didapatkan ketebalan film}$$

tipis sebesar 16,69 nm



LAMPIRAN 2. Kurva rapat arus (J) dan Tegangan (V)



LAMPIRAN 3. Perbandingan ukuran Kristal



LAMPIRAN 5. Penghitungan Konstanta dielektrik

1. Sampel C

Diketahui : ukuran kristal $\text{SrTiO}_3 = 13,74 \text{ nm}$

Jari-jari partikel $\text{SrTiO}_3 = 1/2 \times 13,74 = 6,87$

Untuk menentukan konstanta dielektriknya digunakan persamaan:

$$\varepsilon(R) = 1 + \frac{\varepsilon(\infty) - 1}{1 + \left(\frac{\alpha}{R}\right)^l}$$

$$\varepsilon(R) = 1 + \frac{250 - 1}{1 + \left(\frac{3,905 \text{ nm}}{6,87 \text{ nm}}\right)^1}$$

$$\varepsilon(R) = 159,759$$

2. Sampel A

Diketahui : ukuran kristal $\text{SrTiO}_3 = 53,767 \text{ nm}$.

Jari-jari partikel $\text{SrTiO}_3 = 1/2 \times 53,767 = 26,883$

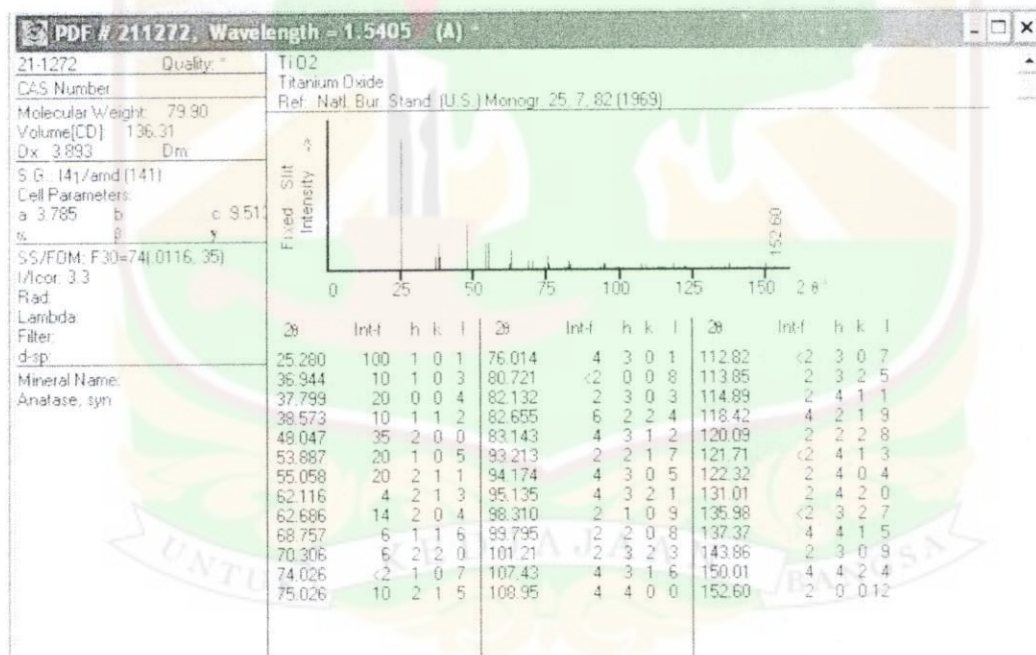
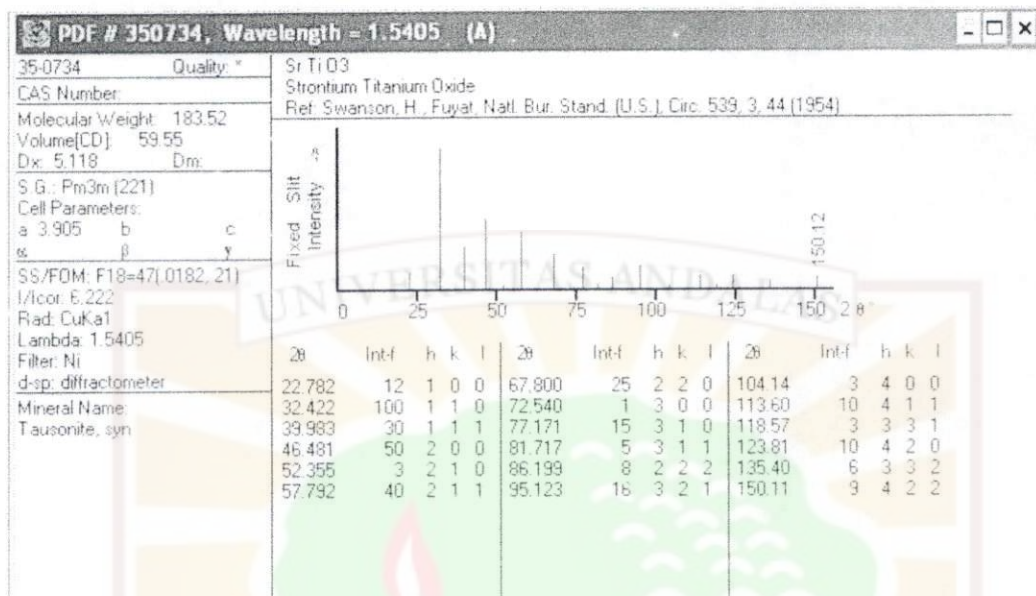
Untuk menentukan konstanta dielektriknya digunakan persamaan:

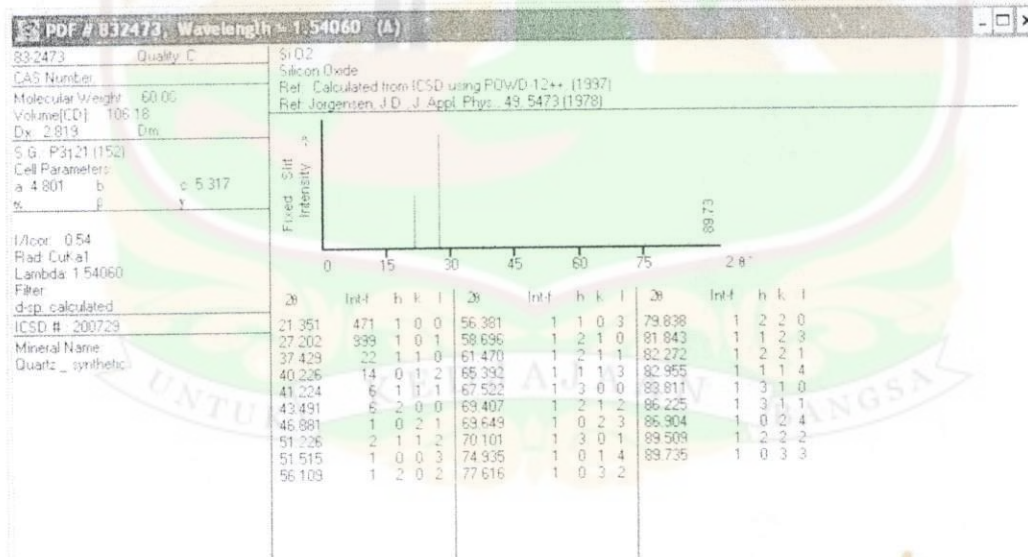
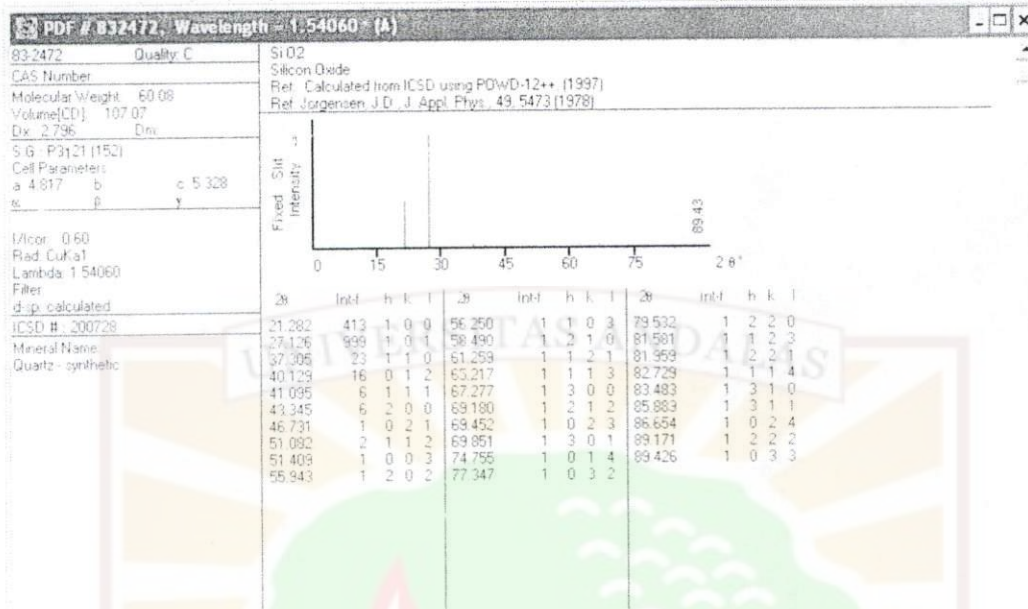
$$\varepsilon(R) = 1 + \frac{\varepsilon(\infty) - 1}{1 + \left(\frac{\alpha}{R}\right)^l}$$

$$\varepsilon(R) = 1 + \frac{250 - 1}{1 + \left(\frac{3,905 \text{ nm}}{26,883 \text{ nm}}\right)^1}$$

$$\varepsilon(R) = 218,418$$

LAMPIRAN 6. DATA JCPDS

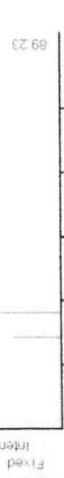




PDF # 832471, Wavelength - 1.54060 (Å)

832471
CAS Number
Molecular Weight 60.08
Volume [CC] 107.62
Dx 2.781
S.G. P31.21 (152)
Cell Parameters
a 4.825 b c 5.336
α β γ
I/cor 0.58
Rad Curat
Lambda 1.54060
Filter
d-sp. calculated
ICSD # 200727
Mineral Name
Quartz - synthetic

SiO2
Silicon Oxide
Ref. Calculated from ICSD using POWD-12++ (1997)
Ref. Jorgensen, J.D., J. Appl. Phys. 43, 5473 (1978)



2θ	h	k	l	2θ	h	k	l
21.243	411	1	0	56.152	1	0	3
27.079	999	1	0	58.374	1	2	0
37.235	21	1	0	61.138	1	2	1
40.061	14	0	1	65.066	1	1	3
41.019	5	1	1	67.140	1	3	0
43.263	5	2	0	69.042	1	2	2
46.643	7	0	2	69.215	1	0	2
50.983	2	1	2	69.708	1	3	0
51.322	1	0	3	74.616	1	0	1
55.839	1	2	0	77.186	1	0	3

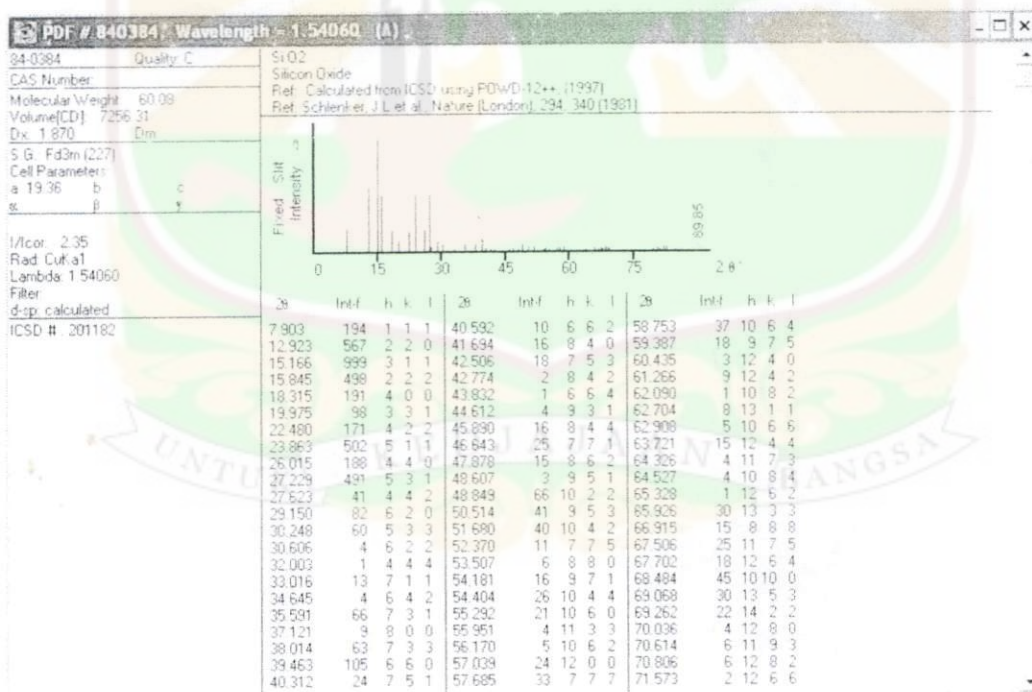
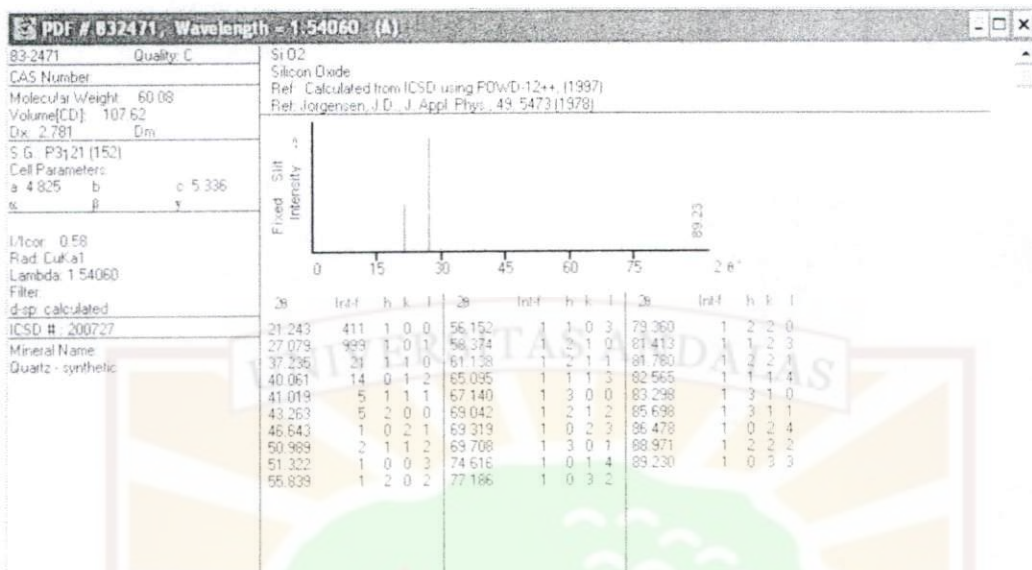
PDF # 840791, Wavelength - 1.54060 (Å)

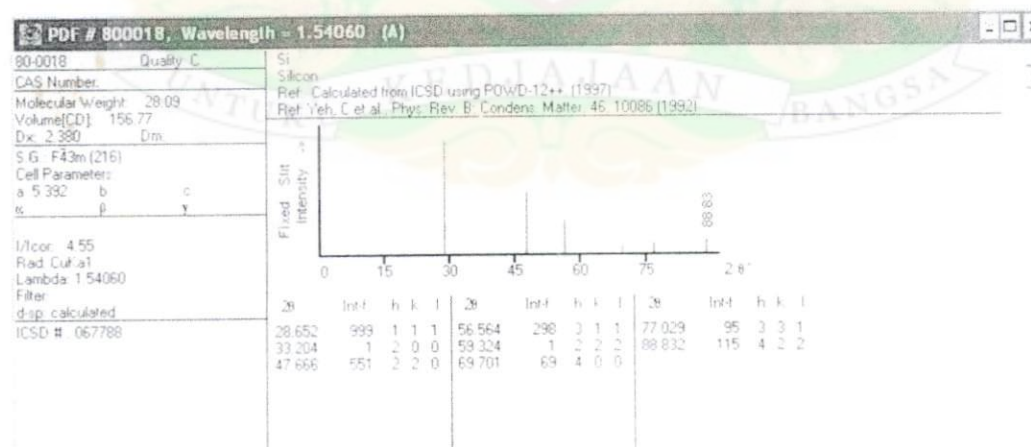
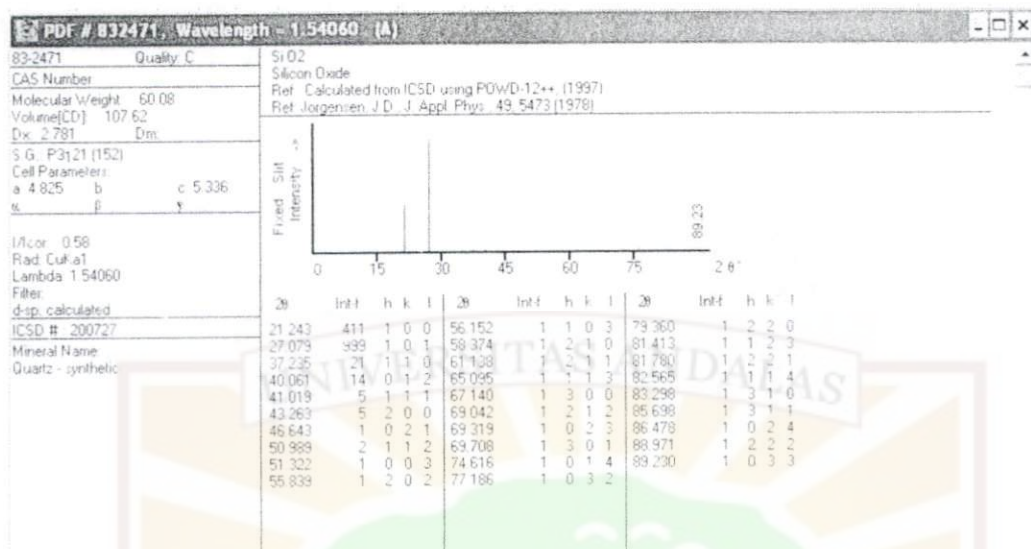
840791
CAS Number
Molecular Weight 190.08
Volume [CC] 120.69
Dx 1.371
S.G. Cmc21 (36)
Cell Parameters
a 13.83 b 17.41 c 5.042
α β γ
I/cor 3.03
Rad Curat
Lambda 1.54060
Filter
d-sp. calculated
ICSD # 201689
Mineral Name
Zedite theta1

SiO2
Silicon Oxide
Ref. Calculated from ICSD using POWD-12++ (1997)
Ref. Barn, S.A. et al. Nature (London) 312, 533 (1984)



2θ	h	k	l	2θ	h	k	l
8.155	999	1	0	32.179	8	3	5
10.150	196	0	2	32.743	9	5	1
12.786	219	2	0	33.020	16	4	2
15.352	74	2	0	33.453	2	2	6
15.547	17	1	3	35.583	60	0	2
19.403	85	1	1	35.664	61	0	6
19.889	12	3	1	36.567	11	1	2
20.337	401	0	2	36.672	17	1	0
20.337	401	0	4	36.898	17	3	5
21.133	182	2	4	37.096	5	0	2
21.330	323	1	3	37.309	15	5	1
21.634	124	3	0	37.672	5	4	1
25.735	164	1	0	38.033	42	2	6
25.866	5	1	5	39.023	2	6	0
26.669	35	3	1	39.352	5	1	3
27.037	20	0	4	39.479	3	5	3
27.285	5	4	0	40.260	8	6	2
30.013	13	2	4	40.432	5	4	6
30.423	14	3	1	40.540	4	1	7
30.780	17	0	6	40.941	3	3	1
31.865	6	1	5	41.039	3	3	1





LAMPIRAN 6. Gambar alat yang digunakan.



